



**UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE CATALUNYA  
BARCELONATECH**

---

**Escola Superior d'Enginyeries Industrial,  
Aeroespacial i Audiovisual de Terrassa**

Memòria

**PROJECTE D'UN DISSENY D'UNA BOMBA D'AIGUA  
CONSTRUÏDA MITJANÇANT TECNOLOGIA 3D**

Projecte final de grau

Enginyeria mecànica

**10 DE JUNY 2019**

Autor: **Adrià Altadill Sánchez**

Director: **Montserrat Sánchez Romero**

Co-Director: **Rafael Weyler Pérez**

## RESUM

La tecnologia d'impressió 3D és un procés pel que es creen objectes físics mitjançant l'acumulació o addició de material per capes, segons un model digital. En comptes de tinta, com les conegudes impressores 2D, les impressores 3D utilitzen principalment polímers. Tots els processos d'impressió 3D requereixen que el software, el hardware i els materials treballin de manera conjunta.

La impressió 3D és una tecnologia que té el seu inici a l'any 1976. Però no és fins fa pocs anys que aquest mètode ha agafat impuls, progressant i millorant de manera considerable.

Fins i tot, cada cop hi ha més gent que disposa d'una impressora 3D particular a la seva llar, sobretot perfils estudiantils de branques com l'enginyeria, disseny industrial o arquitectura.

Per tant, és una tecnologia que arriba amb molta força al nostre món i és probable que sigui un procés de fabricació de futur amb molta importància a l'hora de presentar prototips i components en qualsevol sector i, fins i tot, productes per a ús final.

En aquest treball de final de grau es realitza el disseny d'una bomba d'aigua mitjançant tecnologia d'impressió 3D. Hi haurà dues fases diferenciades, en primer lloc, la part teòrica; la recerca d'informació sobre aquesta tecnologia i sobre les característiques de les bombes d'aigües netes. En segon lloc, la part pràctica, el disseny de la bomba, que consistirà en la impressió de les peces que la conformen i el seu acoblament, anàlisi del seu funcionament i propostes de millora.

# ÍNDEX

1.1. OBJECTIU .....	8
1.2. ABAST .....	8
1.3. MOTIVACIÓ I UTILITAT .....	8
1.4. METODOLOGIA.....	9
 2. MARC TEÒRIC .....	 10
2.1. TECNOLOGIA D'IMPRESSIÓ 3D .....	10
2.1.1. Què és i com funciona una impressora 3D? .....	10
2.1.2. Classificació de les impressores 3D .....	12
2.1.3. Materials .....	18
2.1.4. Avantatges i inconvenients.....	25
2.1.5. Aplicacions .....	30
2.1.6. Impressió 3D en el futur .....	34
 2.2. BOMBES D'AIGUA .....	 35
2.2.1. Definició .....	35
2.2.2. Classificació general .....	35
2.2.3. Components principals .....	38
2.2.4. Funcionament.....	39
2.2.5. Utilitat.....	40
 3. MARC PRÀCTIC .....	 41
3.1. SELECCIÓ TIPUS DE BOMBA.....	41
 3.2. DISSENY ELEMENTS IMPRESSOS EN 3D .....	 42
3.2.1. Disseny i dimensionat del cos principal I i rodet .....	42
3.2.3. Tapa .....	46
 3.3. ELEMENTS FUNCIONALS I/O ESTRUCTURALS.....	 47
3.3.1. Disseny i dimensionat de l'eix .....	48
3.3.2. Dimensionat de la xaveta .....	49
3.3.3. Dimensionat del rodament .....	51
3.3.4. Anell Seeger .....	55
3.3.5. Elecció junta i reten .....	56

3.3.6. Cargolaria .....	60
3.3.7. Dimensionat del cos principal II.....	60
3.4. TOLERÀNCIES PREVIES .....	61
3.5. PROCÉS D'IMPRESSIÓ 3D .....	62
3.5.1. Selecció tipus d'impressió .....	62
3.5.2. Posta en marxa i configuració de paràmetres.....	63
3.5.3. Defectes d'impressió .....	65
3.5.4. Solucions aplicades.....	67
3.6. ACOBLAMENT I MUNTATGE .....	70
3.7. RESULTAT FINAL OBTINGUT .....	704
3.8. REDISENY .....	76
3.9. CÀLCULS .....	78
3.10. MILLORES .....	80
4. PRESSUPOST .....	80
5. PLEC DE CONDICIONS .....	82
6. CONCLUSIONS .....	84
7. BIBLIOGRAFIA .....	85
8. AGRAÏMENTS.....	87

## ÍNDIX DE FIGURES

Figura 1. Etapes genèriques del procés d'impressió 3D.....	10
Figura 2. Impressora 3D.....	11
Figura 3. Classificació impressores 3D.....	12
Figura 4. Funcionament FDM.....	13
Figura 5. Funcionament SLA.....	14
Figura 6. Models de joiera impresos amb impressió SLA.....	15
Figura 7. Funcionament SLS.....	16
Figura 8. ABS VS PLA. ....	18
Figura 9. Objecte imprès amb filament Laybrick.....	20
Figura 10. Objecte imprès amb filament Laywoo-D3.....	20
Figura 11. Bobina de Naylon.....	20
Figura 12. Material Bendlay. ....	21
Figura 13. Rodaments impresos amb filament HIPS. ....	22
Figura 14. Filament HDPE. ....	22
Figura 15. Ampolles impreses amb filament PETG. ....	23
Figura 16. Maqueta creada amb impressió 3D.....	25
Figura 17. Pròtesis fabricada amb impressió 3D. ....	26
Figura 18. Escriptori d'una oficina amb una impressora 3D. ....	26
Figura 19. Conjunt d'un motor imprès en 3D. ....	27
Figura 20. Mussol imprès en 3D comparat amb un fabricat de forma tradicional. ....	27
Figura 21. Pistola fabricada mitjançant impressió 3D.....	28
Figura 22. Aliments impresos amb tecnologia 3D.....	30
Figura 23. Component aeroespacial imprès en 3D.....	31
Figura 24. Casa fabricada amb una impressora 3D. ....	31
Figura 25. Calçat imprès en 3D.....	32
Figura 26. Part davantera d'un cotxe fabricat amb tecnologia d'impressió 3D.....	32
Figura 27. Engranatges impresos en 3D. ....	33
Figura 28. Fabricació additiva per sector (%). ....	33
Figura 29. Transplantament d'unes costelles impreses en 3D.....	34
Figura 30. Classificació bombes d'aigua.....	35
Figura 31. Electrobomba .....	36
Figura 32. Motobomba .....	36
Figura 33. Bomba submergible per a aigües residuals.....	36
Figura 34. Bomba per major pressió d'aigua .....	37
Figura 35. Bomba per major cabal d'aigua .....	37

Figura 36. Parts principals d'una bomba d'aigua .....	38
Figura 37. Recorregut de l'aigua per l'interior d'una bomba .....	39
Figura 38. Diferents tipus de bomba d'aigua-trepant .....	41
Figura 39. 1r pas del disseny del cos principal .....	42
Figura 40. 2n pas del disseny del cos principal .....	42
Figura 41. 3r pas del disseny del cos principal .....	43
Figura 42. 4t pas del disseny del cos principal .....	43
Figura 43. 5è pas del disseny del cos principal .....	44
Figura 44. 6è pas del disseny del cos principal .....	44
Figura 45. Distància mínima entre les aspes del rodet .....	45
Figura 46. Model en SolidWorks del rodet .....	45
Figura 47. Model en SolidWorks de la tapa .....	46
Figura 48. Elements estructurals i/o funcionals de la bomba dissenyada .....	47
Figura 49. Model en SolidWorks de l'eix .....	48
Figura 50. Disposició dels elements estructurals en l'eix.....	49
Figura 51. Dimensions xaveta.....	50
Figura 52. Dimensions xaveter.....	50
Figura 53. Catàleg xaveta .....	50
Figura 54. Rodament de boles .....	51
Figura 55. Càrregues aplicades en un rodament.....	52
Figura 56. Desalineació rodament .....	52
Figura 57. Catàleg SKF (rodament) .....	54
Figura 58. Rodament SKF 8x22x7 escollit.....	54
Figura 59. Possibles 2 tipus d'anell seeger.....	55
Figura 60. Seeger situat fora de la peça .....	55
Figura 61. Catàleg anell seeger .....	56
Figura 62. Junta tòrica.....	57
Figura 63. Secció d'un reten .....	57
Figura 64. Catàleg Epidor reten .....	59
Figura 65. Reten 10x18x5 escollit.....	59
Figura 66. Model SolidWorks del cos principal definitiu.....	60
Figura 67. Impressora 3D Universitat .....	62
Figura 68. Disposició del rodet per ser imprès.....	63
Figura 69. Disposició del cos principal per ser imprès.....	64
Figura 70. Disposició de la tapa per ser imprès.....	65
Figura 71. Rodet obtingut amb impressió 3D.....	65
Figura 72. Defecte d'impressió II del cos principal.....	66
Figura 73. Defecte d'impressió II del cos principal.....	66
Figura 74. Tapa obtinguda amb impressió 3D .....	67
Figura 75. Disposició de la peça 1 del cos principal per ser impresa.....	67

Figura 76. Disposició de la peça 2 del cos principal per ser impresa .....	68
Figura 77. Peça 1 del cos principal obtinguda amb impressió 3D .....	69
Figura 78. Peça 2 del cos principal obtinguda amb impressió 3D .....	69
Figura 79. Eines utilitzades per muntar la bomba.....	70
Figura 80. Resultat final del cos principal .....	71
Figura 81. Conjunt rodament-eix.....	71
Figura 82. Reten introduït en el cos principal.....	71
Figura 83. Conjunt eix-rodament-reten introduït en el cos principal .....	72
Figura 84. Anell seeger introduït .....	72
Figura 85. Introducció de la xaveta i del rodet en el muntatge de la bomba .....	72
Figura 86. Femella cargolada per fixar el rodet .....	73
Figura 87. Junta allotjada en la tapa .....	73
Figura 88. Cargols, volanderes i femelles segellant la bomba .....	73
Figura 89. Diferents perspectives de la bomba construïda amb impressió 3D .....	74
Figura 90. Material necessari per posar en funcionament la bomba .....	74
Figura 91. Instal·lació per omplir la bomba d'aigua .....	75
Figura 92. Paper de junta retallada amb la forma de la bomba.....	76
Figura 93. Posició de la bomba i tub d'aspiració per fer funcionar la bomba .....	77
Figura 94. Distància entre aspa i aspa del rodet.....	78
Figura 95. Distància entre tapa i rodet.....	80

## ÍNDEX DE TAULES

Taula 1. Comparativa impressores 3D.....	17
Taula 2. Avantatges i inconvenients dels 2 polímers més utilitzats en la impressió 3D. ....	19
Taula 3. Altres comparacions dels 2 polímers més utilitzats. ....	19
Taula 4. Característiques principals de tots els materials d'impressió 3D.....	24
Taula 5. Llegenda elements estructurals .....	47
Taula 6. Dades impressió 3D rodets.....	64
Taula 7. Dades impressió 3D cos principal.....	64
Taula 8. Dades impressió 3D tapa .....	65
Taula 9. Dades impressió 3D peça 1 del cos principal .....	68
Taula 10. Dades impressió 3D peça 2 del cos principal .....	68
Taula 11. Llegenda eines utilitzades per muntar la bomba .....	70
Taula 12. Llegenda material utilitzat per fer funcionar la bomba .....	75



# 1. INTRODUCCIÓ

## 1.1. OBJECTIU

La realització d'aquest treball comporta dos objectius principals.

El primer objectiu és aprofundir i conèixer de manera més propera una de les màquines més conegudes, utilitzades i antigues en el món industrial, la bomba d'aigua.

El segon objectiu és realitzar el disseny d'una bomba d'aigua mitjançant tecnologia d'impressió 3D. Consistirà en la impressió de les peces que la conformen i el seu acoblament, l'anàlisi del seu funcionament i cercar propostes de millora.

Aquest últim objectiu implicarà altres objectius com aprendre a utilitzar una impressora 3D, saber quines limitacions té aquesta tecnologia i saber-les aplicar al disseny, dissenyar les peces de tal forma que puguin ser impreses en 3D i conèixer els diferents tipus d'impressores que existeixen i amb quins materials poden treballar cadascuna d'elles.

## 1.2. ABAST

La bomba d'aigua dissenyada serà accionada per un trepant i de petites dimensions que permetrà, en un principi, bombejar aigua uns pocs metres, com per exemple, extreure aigua d'estanys de jardí, aigua de pluja acumulada, soterranis inundats, etc.

Per tant, la necessitat que es vol cobrir mitjançant aquest projecte és aconseguir dissenyar i construir una bomba de caràcter domèstic, que sigui eficaç i de fàcil utilitat, sense cobrir la necessitat de dissenyar una bomba que treballi amb grans quantitats de fluid o a escala industrial.

## 1.3. MOTIVACIÓ I UTILITAT

El principal inconvenient que hi haurà a l'hora de construir la bomba és la poca precisió que hi haurà amb les cotes i toleràncies que ofereix la impressora, ja que té un error considerable, que fins i tot en algun cas, és probable que s'hagi de reduir alguna mesura de la peça llimant-la.

Una gran avantatge d'aquest procés és el seu baix cost de producció. Evidentment les prestacions que ofereix una màquina produïda amb impressió 3D són molt menors. Aquest és un dels principals motius pel qual totes les peces que conformaran la bomba no seran amb format d'impressió 3D, si no que aquelles peces que es considerin que poden afectar la funcionalitat o l'estructura de la màquina, seran subministrades per proveïdors.

Per tant, la part més crítica del projecte serà aquesta, saber combinar de manera correcta les peces fabricades de forma tradicional amb les impreses amb tecnologia 3D per tal que la bomba funcioni correctament.

A més a més, s'ha de tenir en compte que no qualsevol peça pot ser impresa amb tecnologia 3D, ja que aquesta tecnologia es basa en l'acumulació de material per capes. Per tant, és un factor molt important a l'hora de dissenyar la bomba. És possible que alguna peça, que per un altre mètode de fabricació, com per exemple el fresat, es podria obtenir amb un únic sòlid, mentre que amb impressió 3D és probable que aquesta mateixa peça s'hagi de dividir en diferents parts i fer el seu acoblament posterior.

Aquesta dificultat és una de les motivacions principals per realitzar aquest projecte, ja que durant el procés de fabricació sorgiran problemes d'aquest tipus i s'haurà de ser capaç d'afrontar-los i solucionar-los.

Un altre dels motius que han motivat a realitzar aquest projecte és la inexistència d'experiència en el món de la tecnologia d'impressió 3D, fet que provoca una gran curiositat per una tecnologia que té molt futur per canviar el procés de fabricació de prototips i components en qualsevol sector.

Per últim, aquest projecte serà útil per aprendre a fer funcionar una impressora 3D i saber-la configurar per tal d'obtenir els resultats desitjats.

## 1.4. METODOLOGIA

Consisteix en un treball dividit en 2 parts; el marc teòric i el marc pràctic.

En el marc teòric es farà una àmplia recerca d'informació sobre les bombes d'aigua i sobre la impressió 3D. Informar-se dels tipus que hi ha, com funcionen, quines parts les conformen, aplicacions, limitacions, materials, etc. La principal font d'informació seran les pàgines web.

Per altra banda, el marc pràctic, consistirà en dissenyar i modelar totes les peces que conformen la bomba, imprimir les peces i fer el seu acoblament, tenint en compte tots els factors explicats amb anterioritat. El programa CAD utilitzat per realitzar el disseny serà SolidWorks.

Es dona prioritat a començar el projecte per la part pràctica. Però això implica, que al mateix temps, s'haurà de fer una petita recerca de la part teòrica sobre les bombes per agafar diverses idees de dissenys i agafar una possible idea de quin es considera el més viable. Aquesta prioritat és deguda a que dissenyar la bomba és la part on hi haurà més errors i més indecisions, per tant és important tenir clar el conjunt com abans millor. Un cop fet això el següent pas serà centrar-se en la resta de la part teòrica.

Finalment, un cop realitzades ambdues parts, el següent pas serà fer el pressupost, el plec de condicions, les conclusions i la bibliografia. I finalment els annexes.

## 2. MARC TEÒRIC

### 2.1. TECNOLOGIA D'IMPRESSIÓ 3D

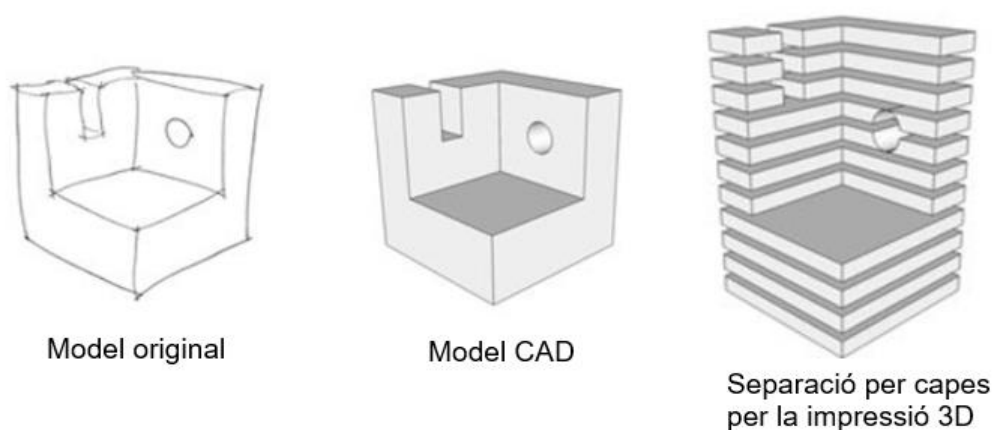
#### **2.1.1. Què és i com funciona una impressora 3D?**

Una impressora 3D és una màquina capaç d'imprimir figures amb volum a partir d'un disseny fet per ordinador per mitjà de qualsevol programa CAD.

És una tecnologia que es basa en l'acumulació o addició de material per capes, és a dir, el material utilitzat és dipositat capa rere capa en direcció de l'eix Z, aconseguint així l'efecte 3D de la impressió.

En comptes de tinta, com les conegudes impressores 2D, les impressores 3D utilitzen principalment, polímers.

Sovint tot comença dibuixant un croquis de la peça a fabricar. Seguidament, fer el disseny de l'objecte utilitzant algun programari CAD (com SolidWorks, per exemple). L'arxiu 3D resultant, majoritàriament en format .STL, es divideix en diverses capes utilitzant un programari denominat «slicer» (com Makerware, Cura o Repetier) en el qual és possible seleccionar els diferents paràmetres d'impressió. Un cop configurat tot, es pot començar a imprimir.



*Figura 1. Etapes genèriques del procés d'impressió 3D.*

Per dur a terme una impressió cal determinar una sèrie de paràmetres necessaris per definir el procés:

- *Gruix de capa*, és a dir, l'altura de cada capa en mil·límetres. L'altura estàndard és de 0,05 mm.
- *Temps d'exposició per capa*. Correspon al temps en que s'estarà projectant la llum UV sobre cada capa. Ha de ser suficient perquè el plàstic es solidifiqui i s'adhereixi a la capa anterior, però tenir en compte que un excés de temps implicaria un sobredimensionat de la peça.
- *Temps d'exposició per a les primeres capes*. Aquest temps és aproximadament 10 cops superior a l'anterior per tal d'aconseguir una forta unió en les primeres capes a la plataforma de construcció.
- *Número de capes inicials sotmeses al temps d'exposició anterior*. Solen ser les capes que formen la base i els suports de la peça.
- *Duració d'una seqüència*. Aquest valor indica el temps que tardarà la plataforma de construcció, un cop solidificada la capa, elevar-se fins a una certa alçada i tornar a la posició adequada per realitzar la següent capa. Aquest paràmetre ve determinat per:
  - Altura d'elevació.
  - Velocitat d'elevació
  - Velocitat de descens
- *Direcció de construcció*. Aquest valor indica si la plataforma de construcció anirà de manera ascendent o descendent per crear la peça. És sinònim d'indicar quin tipus de tecnologia d'impressió s'utilitzarà, SLA o DLP.

Un cop determinats aquests paràmetres, la impressora ja és capaç de dividir la peça per capes i generar l'objecte en 3D. A més a més, ens informarà sobre el temps estimat del procés.

Tots els processos d'impressió 3D requereixen que el software, el hardware i els materials treballin de manera conjunta.

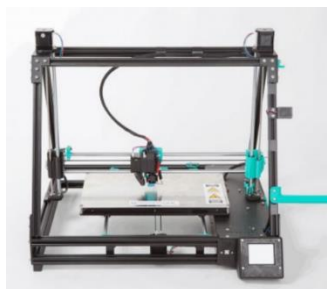


Figura 2. Impressora 3D.

### 2.1.2. Classificació de les impressores 3D

En aquest apartat s'explicaran els diferents tipus d'impressores que existeixen actualment en el mercat, detallant i explicant les principals característiques de les més importants.

Cada impressora té els seus propis avantatges i inconvenients; per això, algunes companyies ofereixen triar entre pols i polímer com a material de fabricació de la peça segons siguin les prioritats del client.

Generalment les consideracions principals són velocitat, cost del prototip imprès, cost de la impressora 3D, elecció i cost de materials, així com la capacitat per triar el color.

Per distingir diferents gammes o tipus d'impressores 3D, es fa principalment en funció de la tecnologia que fan servir per dur a terme la impressió.

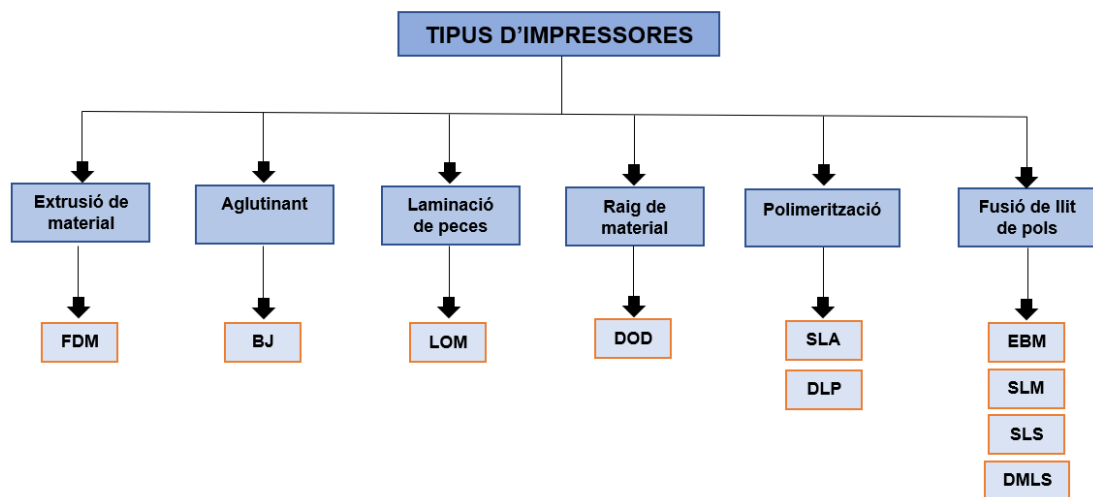


Figura 3. Classificació impressores 3D.

Des dels inicis de la impressió 3D s'han desenvolupat múltiples tecnologies, i el propòsit és el mateix; convertir un model digital en un model físic.

Per arribar a la meta, cadascuna de les tecnologies té diferents tècniques, desenvolupaments, i per descomptat, resultats. No obstant, a dia d'avui hi ha 3 tipus d'impressió que destaquen per sobre de les altres.

### - Modelatge per deposició fosa (FDM)

Aquesta tècnica és considerada sovint el mètode més comú i senzill en impressores 3D. Consisteix en depositar polímer fos (generalment filament PLA o ABS) sobre una base plana, capa a capa.

És la tècnica més estesa, encara que no la més precisa, ja que els detalls d'impressió solen ser menys precisos que a la resta de tecnologies.

No obstant, triomfa per ser la més assequible de totes amb diferència.

El plàstic està emmagatzemat en una bobina de filament com un fil enrotllat. Aquest filament termoplàstic es conduit cap a un capçal d'extrusió per seguidament ser escalfat fins la temperatura de fusió. Mentrestant, la superfície d'impressió va baixant l'objecte capa per capa en la direcció Z. D'aquesta manera l'objecte s'imprimeix de baix a dalt.

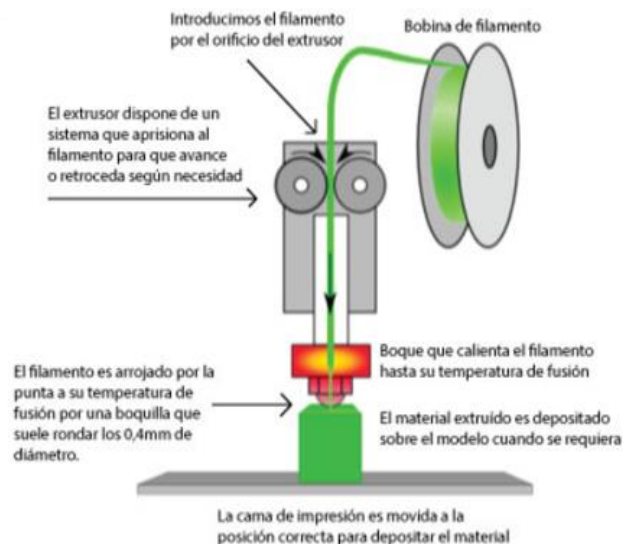


Figura 4. Funcionament FDM.

Els principals usos d'aquesta tecnologia són el prototipat ràpid, models low cost, experimentació en la impressió 3D en l'educació i en el desenvolupament de models en què la qualitat no és crucial.

Tot i això aquesta tecnologia està millorant dia a dia per obtenir millor qualitat en els productes finals.

En la tecnologia FDM la resolució està directament relacionada amb la mida del filtre d'extrusió i la precisió dels moviments de l'extrusor (eix X / Y), per això és de màxima importància calibrar correctament la màquina. Moltes vegades la qualitat també varia en funció de la màquina, en la seva precisió i suavitat d'impressió, ja que el pes de les capes superiors pot desplaçar les inferiors, reduint la qualitat.

El gruix de capa d'una impressora FDM va des de 0.5 a 0.127 mm.

Pel que fa el post processament, és relativament senzill: retirar els suports d'impressió, en cas que s'hagin utilitzat, i netejar els excessos de plàstic amb alguna eina. Si es desitja un millor acabat es pot polir o utilitzar una eina com la Polysher de Polymaker.

Una màquina FDM es pot comprar a partir dels 200€. Quan parlem dels filaments 3D es poden trobar per un preu aproximat de 20 € el quilo.

La impressió 3D comença quan la màquina arriba a una temperatura al voltant dels 200°C, la necessària per a la fusió del material.

La impressió 3D per deposició fosa és compatible amb una àmplia varietat de polímers termoplàstics: PLA i ABS, i també de policarbonat com, PET, PS, ASA, PVA, niló, i molts filaments compostos que estiguin basats en metall, pedra, fusta.

Això ofereix interessants propietats mecàniques com ara conductivitat, biocompatibilitat, resistència a temperatures o condicions extremes, etc.

### - **Estereolitografia (SLA)**

La estereolitografia, que va ser inventada per Chuck Hull al 1983, es caracteritza per ser la tecnologia d'impressió 3D més antiga. Aquesta tecnologia funciona mitjançant l'exposició d'una capa de resina líquida fotosensible a un raig làser UV perquè s'endureixi i es solidifiqui. Una vegada que el làser recorre una capa de resina en el patró desitjat, aquest comença a endurir-se. Tot seguit, la plataforma d'impressió del model, situada al tanc líquid de la impressora, baixa una capa i el làser comença a formar la següent capa. Cada capa es construeix sobre l'anterior. Un cop completada la impressió, l'objecte s'ha d'esbandir amb un dissolvent.

L'altura de les peces depèn de la profunditat de la cubeta, que no sol ser molt profunda ja que això comportaria la utilització d'una gran quantitat de resina líquida per dur a terme les peces.

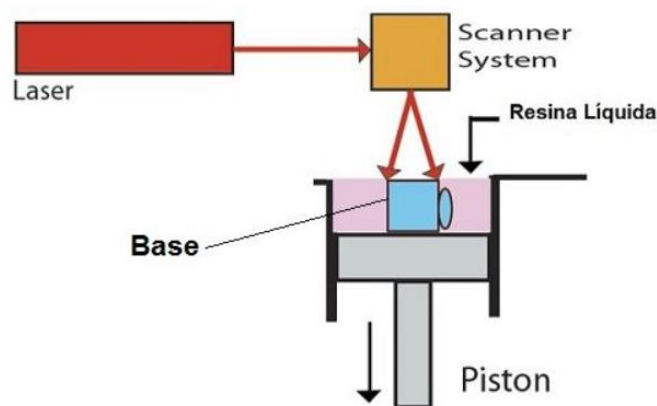


Figura 5. Funcionament SLA.



Aquesta tecnologia disposa de molta més qualitat, fet que permet que s'utilitzi en joieria, en el sector dental o en desenvolupaments artístics. No és convenient que s'apliqui en models que hagin de ser exposats a canvis d'il·luminació o calor, ja que solen patir canvis a l'exposar-se a la llum solar.

En aquest cas, la resolució dels models impresos amb SLA està determinada pel punt òptic del làser o projector. A l'hora d'imprimir no s'aplica cap força, ja que utilitza la llum per la seva polimerització, donant com a resultat superfícies molt més llises. S'aconsegueixen espessors de capa de 0.05 a 0.01 mm.

Pel que fa el post processament, és més llarg que els altres. Començant per treure el model, que pot ser una mica més complicat, ja que en quedar restes de resina pot dificultar el procés una mica. En tenir el model amb nosaltres hem de remoure els residus de resina, per la qual cosa cal col·locar els nostres models en un bany d'alcohol isopropílic, una cosa que s'ha de fer delicadament utilitzant guants per protegir-se de les substàncies. Després de la neteja del model remoure els suports és una cosa que es pot fer manualment o amb ajuda d'eines.

Pel que fa a les màquines d'estereolitografia el preu pot començar a partir de 3.000 € i les resines poden costar com a mínim 70 €, a més que després de diverses impressions el tanc d'impressió cal que es canviï. Actualment moltes empreses estan treballant per augmentar l'oferta i amb això reduir el preu de les màquines.



*Figura 6. Models de joiera impresos amb impressió SLA.*



### - Sinterització selectiva per làser (SLS)

Aquest tipus d'impressores es basen principalment en la sinterització de material en pols mitjançant un raig làser. El làser sinteritza selectivament una capa de grànuls que uneix el material per crear una estructura sòlida. Quan l'objecte està completament format, es deixa refredar una bona estona a la màquina abans de retirar-lo.

Normalment aquest tipus d'impressores 3D s'emprà en indústries i àmbits professionals per a la fabricació de peces amb alta resistència als impactes i altes temperatures.

No obstant això, requereixen de l'ús de costosos làsers d'alta potència, la qual cosa la situa una mica fora de l'abast del consumidor mitjà.

El procés s'inicia amb la plataforma en la posició superior amb una capa de material en pols que es reparteix uniformement per tota la superfície. Seguidament, el làser impacta en la pols, fon el material i es solidifica formant la primera capa de la peça. Posteriorment, la plataforma baixa una distància igual a l'altura desitjada i, mitjançant un corró, es torna a estendre una nova capa de material en pols sobre la superfície d'aquesta plataforma. D'aquesta manera, el làser torna a sinteritzar una altra capa, que s'unirà amb la capa anterior. Aquest procés es repeteix successivament fins a completar la peça.

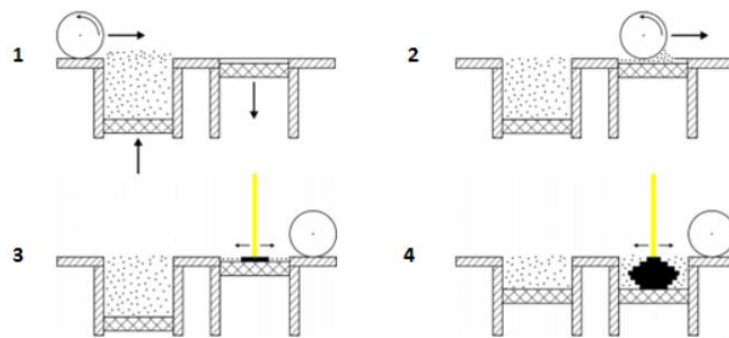












Figura 7. Funcionament SLS.

Aquesta tecnologia permet una àmplia gamma de materials. El més comú és la poliamida (PA 12), conegut comunament com Niló 12. Encara que també es pot fabricar amb Polipropilè, PEBA, PA 11, PEEK, etc.

Es pot igualment afegir fibres d'altres additius als materials com fibres de carboni, vidre o alumini, millorant amb això el comportament mecànic de les peces.

A l'hora d'escollir un tipus d'impressió o una altra, hi ha altres aspectes a tenir en compte:

TIPO	TECNOLOGÍA	SOPORTE	METAL	PRECIO	TIEMPO	CALIDAD	TAMAÑO
FDM		SI	NO	MUY BAJO	ALTO	MUY ROBUSTA	PEQUEÑO
SLA		SI	NO	ALTO	BAJO	FINA	PEQUEÑO
DLP		NO	NO	ALTO	MUY BAJO	FINA	NORMAL
SLS		NO	SI	ALTO	ALTO	FINA	GRANDE
DOD		NO	NO	ALTO	NORMAL	FINA	GRANDE
BJ		NO	SI	ALTO	ALTO	NORMAL	NORMAL
DMLS		NO	SI	MUY ALTO	ALTO	MUY FINA	MUY GRANDE
SLM		NO	SI	MUY ALTO	ALTO	FINA	GRANDE
EBM		NO	SI	MUY ALTO	ALTO	FINA	GRANDE
LOM		NO	SI	BAJO	NORMAL	ROBUSTA	NORMAL

Taula 1. Comparativa impressores 3D.

### **2.1.3. Materials**

Adquirir una impressora 3D involucra diversos aspectes que s'han de considerar prèviament a la compra. Una de les característiques més importants d'aquests equips és el material que utilitzen per a la impressió dels sòlids.

Depenent de la indústria o negoci en el qual vagi a ser utilitzada la impressora variarà el material, ja que cada una té propietats diferents que determinaran l'aparença final del sòlid.

Per exemple, per a la indústria de fusta és millor utilitzar un material que proporcioni una peça que tingui aparença i olor de fusta.

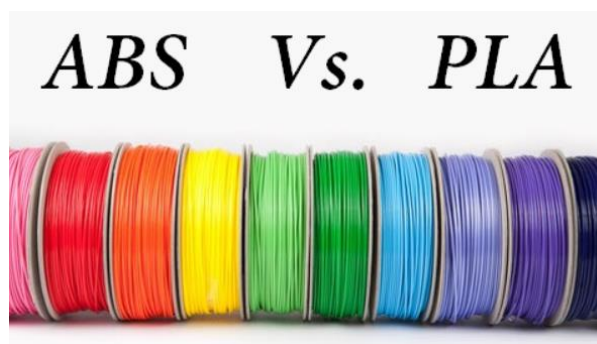
Els dos materials més utilitzats són, sens dubte, el PLA i l'ABS. Per això, s'explicarà detalladament les seves característiques, avantatges, inconvenients i en què es diferencien.

El filament PLA és amb diferència el filament 3D més popular, i amb raó. Per començar, és fàcil d'extruir. Es pot extruir a temperatures més baixes que el filament ABS i no es deforma amb la mateixa facilitat. En altres paraules, no necessites un llit d'impressió (encara que ajuda a obtenir millors impressions 3D).

Un altre aspecte positiu: el PLA no emet mala olor durant la impressió 3D. En general es considera un filament 3D sense olor.

És un material biodegradable i és més ecològic que la majoria dels filaments 3D. A més a més, deriva de recursos renovables com el midó de blat de moro o la canya de sucre.

Ambdós són materials de consum bàsic utilitzat per a molts filaments exòtics o lúdics, com els filaments conductors de l'electricitat, els que brillen en la foscor o els que incorporen fusta o metall.



*Figura 8. ABS VS PLA.*

	AVANTATGES	INCONVENIENTS
<b>PLA</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Facilitat d'impressió.</li> <li>- No necessita llit calent.</li> <li>- Resistència a la humitat.</li> <li>- Molt estable.</li> <li>- Polímer permanent i inodor.</li> <li>- Velocitat d'impressió ràpida.</li> <li>- Baixa densitat, per tant és molt modelable.</li> <li>- Biodegradable.</li> <li>- Soluble en aigua.</li> <li>- Material reciclable.</li> <li>- No emet gasos nocius.</li> <li>- Rang de colors més amplis respecte l'ABS.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Poca resistència tèrmica.</li> <li>- Poca resistència mecànica.</li> <li>- Sensible a la humitat.</li> <li>- Difícil post procés (mecanitzar, pintar, enganxar).</li> <li>- No reutilitzable.</li> <li>- Elevat cost de producció.</li> </ul>
<b>ABS</b>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Conserva la tenacitat a temperatures extremes.</li> <li>- Alta capacitat de mecanitzat.</li> <li>- Alta resistència mecànica.</li> <li>- Molt estable.</li> <li>- Polímer dur i rígid.</li> <li>- Resistent a atacs químics.</li> <li>- Pot ser extruït, modelat, premsat i solapat.</li> <li>- Molt resistent als impactes.</li> <li>- Certa flexibilitat.</li> <li>- Fàcil de pintar sobre d'ell</li> <li>- Brillantor.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Emet gasos nocius.</li> <li>- Experiència necessària en impressió 3D.</li> <li>- Contracció entre capes més ràpida respecte el PLA.</li> <li>- Necessita llit calent.</li> <li>- No és biodegradable.</li> <li>- Efecte Warping (les cantonades tendeixen a aixecar-se en les peces que ocupen molta superfície degut a un salt tèrmic important).</li> </ul>

Taula 2. Avantatges i inconvenients dels 2 polímers més utilitzats en la impressió 3D.

Temperatura	PLA	ABS
Temperatura de impresión	180-230°C	210-250°C
Temperatura de cama caliente	20-60°C	80-110°C
Cama caliente	Opcional	Obligatorio
Ubicar en un recinto	Opcional	Recomendado
Boquilla atascada	En ocasiones	Nunca
Adhesión de la primera capa	Problemas menores	Problemas menores
Humos	Poco o nada	Malo e intenso
Absorción de la humedad	Sí	Sí

Taula 3. Altres comparacions dels 2 polímers més utilitzats.

És important saber que els materials per a impressores 3D van més enllà d'aquests dos polímers. Hi ha altres materials més rars, entre molts altres, que permeten aconseguir textures especials o flexibilitat, que funcionen en la majoria de les impressores:

- **Laybrick**: és una barreja de guix amb plàstic que permet crear peces amb una textura similar a la pedra, que a primera vista no semblen plàstic. Pot tenir textura llisa o rugosa, i és fàcil pintar sobre ell.



Figura 9. Objecte imprès amb filament Laybrick.

- **Laywoo-D3**: és una barreja de fusta amb plàstic per imprimir objectes que realment es vegin com de fusta. Fins i tot simula efectes com els anells de la fusta o l'olor característica.

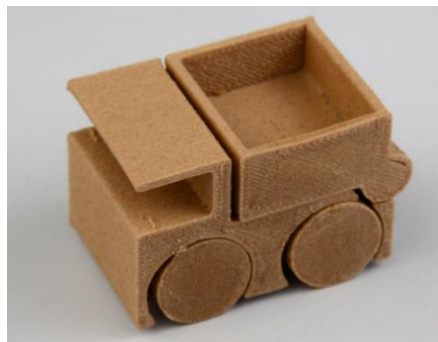


Figura 10. Objecte imprès amb filament Laywoo-D3.

- **Niló**: és una alternativa clàssica a l'ABS i PLA, però més resistent a la fatiga i flexible, a més de natural i resistent a l'aigua. A més a més, disposa d'una molt bona resistència mecànica i una alta temperatura de deformació. Completant els seus avantatges, és reutilitzable.



Figura 11. Bobina de Nylon.

Com és evident, també té els seus inconvenients que encara fan que sigui molt complex de treballar en impressió 3D, ja que no s'adhereix bé a la safata.

A més, agafa humitat fàcilment, i cal assecar-lo al forn tres o quatre hores abans d'imprimir. Per això els inconvenients a l'hora de treballar amb aquest material encara són importants, i es fa complicat controlar les deformacions de les peces.

Per últim, no és biodegradable.

- **Bendlay**: aquest filament d'impressió està especialment destinat per a la impressió 3D d'aliments, així que pot usar-se per a recipients o ampolles. També s'usa en el camp de la medicina.

Té un aspecte físic clar, gairebé transparent i amb una aparença brillant.

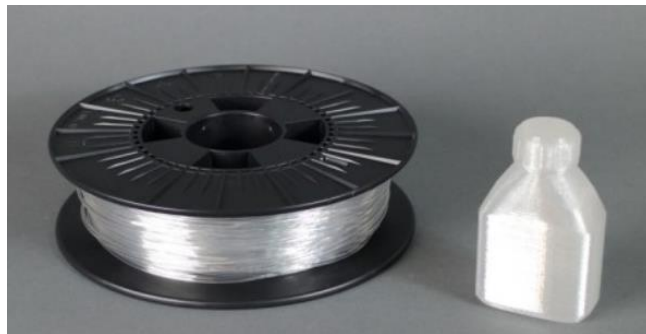


Figura 12. Material Bendlay.

Respon bé davant una velocitat d'impressió elevada. Per al procés final de l'acabat dels objectes impresos, BendLay respon bé davant d'una neteja de material residual utilitzant una simple acetona, un altre dels punts forts d'aquest nou filament.

- **HIPS**: dins de les varietats existents de poliestirè hi ha l'anomenat poliestirè d'alt impacte, material molt semblant a l'ABS.

Presenta major duresa i flexibilitat que l'ABS i permet un ús mèdic ja que és un material inert per al cos humà.

És un material amb moltíssimes avantatges:

- Resistència elevada, inclús a baixes temperatures.
- No necessita lliit calent.
- És reciclable.
- Resistent als àcids, bases i a l'aigua.
- Alta capacitat de mecanitzat.
- No desprèn gasos nocius.
- Bon aïllament tèrmic.
- Excel·lent material de suport.
- Inexistència de l'efecte Warping

Malgrat aquests llistat d'avantatges, és un material que no es pot utilitzar per fabricar peces destinades a estar a la intempèrie. A més, comença a deformar-se a 80°.



Figura 13. Rodaments impresos amb filament HIPS.

- **HDPE**: el polietilè d'alta densitat (o per les sigles en anglès HDPE), és un material lleuger i flexible que s'adhereix bé a si mateix i als altres materials.

És un material molt resistent a l'impacte i als dissolvents i coles. Per altra banda, disposa d'una excel·lent resistència tèrmica i química.

No s'utilitza massa perquè té tendència a encongir i no és reciclable.

S'usa fonamentalment per a fabricar envasos plàstics d'un sol ús.

En canvi, entre les principals desavantatges que podem esmentar, es troben: posseeix poca resistència a la intempèrie, és un material inflamable, molt sensible a les esquerdes per estrès, és difícil d'unir mitjançant adhesius i no és biodegradable.



Figura 14. Filament HDPE.



- **PET/PETG**: el tereftalat de polietilè o PET és el plàstic més comunament utilitzat al món. Conegut com el polímer amb el qual es fabriquen les ampolles d'aigua, també es troba en fibres tèxtils i envasos d'aliments. Tot i que el PET "en brut" poques vegades s'utilitza per a la impressió 3D, la seva variant, el filament PETG, és àmpliament utilitzat.

El PETG és més translúcid, fràgil i, sobretot, més fàcil d'utilitzar que el PET convencional. És per aquesta raó que el PETG es veu sovint com un terme mitjà entre l'ABS i el PLA. És més flexible i durador que el PLA i més fàcil d'extruir que l'ABS.

No obstant això, tenir en compte tres aspectes importants quan s'imprimeix amb PETG:

- El PETG és higroscòpic, és a dir, absorbeix la humitat de l'aire circumdant, el que té un efecte negatiu en la impressió. Per tant, s'ha de mantenir el filament 3D en un lloc fresc i sec.
- El PETG és adhesiu durant la impressió 3D, el que el fa inadequat per a la impressió d'estructures de suport, però proporciona una bona adhesió de les capes.
- Encara que no és fràgil, el PETG es ratlla més fàcilment que l'ABS.



*Figura 15. Ampolles impreses amb filament PETG.*



Fins ara, s'han explicat els materials més destacats, però la llista és més extensa:

MATERIAL	CARACTERÍSTIQUES PRINCIPALS
TPE, TPU, TPC	Plàstics amb propietats elàstiques, per tant són flexibles i duradors
PC (Policarbonat)	És el filament de major duresa. És resistent als cops i la calor. És transparent.
Metall	S'utilitza especialment per raons estètiques, ja que aporta brillantor.
PMMA (acrílic)	Material rígid, resistent als cops i transparent. Utilitzat per tots els projectes que necessitin difuminar llum.
Conductiu	S'aplica per a circuits elèctrics i electrònics de baixa tensió.
Fosforescent	Material que brilla a l'obscuritat i pot ser de diferents colors.
Magnètic	Els objectes impresos amb aquest material s'enganxaran als imants però no son imants.
Canvi de color	És un material que tendeix a canviar entre dos colors. La seva finalitat és simplement estètica.
Argila/Ceràmica	Material fràgil. S'obtenen objectes molt reals i autèntics.
Fibra de carboni	S'obté un objecte amb gran rigidesa i lleuger. S'utilitza principalment per components mecànics.
PC/ABS	Gran duresa i resistència tèrmica. S'utilitza en el sector automotriu i en el de telecomunicacions.
PVA	Soluble en aigua. S'utilitza per exemple, per envasats de pastilles de detergents per rentaplats.
ASA	És dur, rígid, resistent als tractaments químics i a la calor i no es deforma. Múltiples aplicacions.
Polipropilè (PP)	És fort, flexible, lleuger i resistent als químics i pot estar en contacte amb els aliments. Múltiples aplicacions.
Acetal (POM)	És resistent al desgast, per tant s'utilitza per imprimir peces que estaran en constant moviment, com per exemple engranatges.
Netejador	S'utilitza simplement per netejar els extrusors de les impressores 3D.

Taula 4. Característiques principals de molts materials d'impressió 3D.

### **2.1.4. Avantatges i inconvenients**

Les impressores 3D estan marcant una revolució industrial permetent que les persones i les empreses puguin crear els seus propis objectes.

Però és necessari conèixer tots els avantatges i inconvenients d'aquesta tecnologia per saber si pot arribar a tenir tanta importància i transcendència en un futur proper.

A continuació s'expliquen els *avantatges* més destacats:

- ***Reducció de costos de fabricació.*** Les impressores 3D agafaran protagonisme per reduir costos a nivell de maquinària i evitar el cost i el temps que comporta la formació dels operadors en les màquines tradicionals.  
A més, la tecnologia 3D només usa el material necessari per a la fabricació del producte mentre que en els processos de fabricació tradicionals normalment és perd una gran quantitat de material.
- ***Creació de prototips i maquetes.*** Un cop realitzat el model 3D, es pot imprimir a escala i contemplar-lo.



Figura 16. Maqueta creada amb impressió 3D.

- ***Reciclatge i estalvi de materials.*** Hi ha un impacte ambiental favorable en la reducció de transport i en el fet de tenir menys peces sobrants i menys residus. Això és així perquè s'utilitza el material necessari per construir la peça. Cada impressió es realitza afegint material, a diferencia de la indústria coneguda fins avui, que fabrica tallant i reduint la matèria prima.  
A més a més, en la tecnologia 3D, el material no utilitzat es pot usar en una altra impressió.

- **Aplicació en diversos sectors.** La quantitat d'indústries que poden beneficiar-se gràcies a aquesta tecnologia és il·limitada. Es poden crear peces per a vehicles, parts d'estructures d'edificacions, joguines, eines, equips esportius a la mesura de cada atleta, accessoris de moda, etc.

La salut és una de les indústries més afavorides amb la impressió 3D. Es poden fabricar òrgans i parts del cos humà personalitzades, des de implants i pròtesis dentals fins a teixits orgànics.

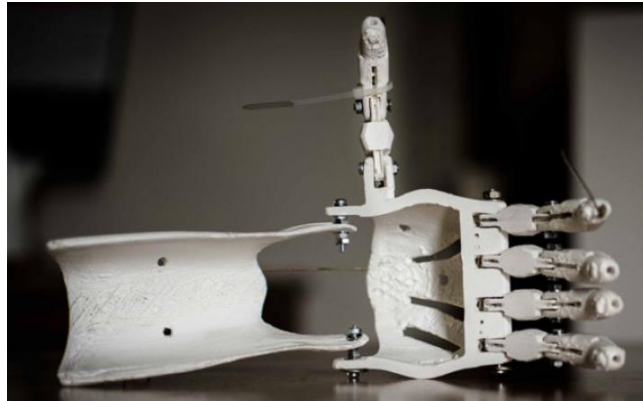


Figura 17. Pròtesis fabricada amb impressió 3D.

- **Personalització i ús a casa.** La possibilitat de crear els teus propis objectes de forma personalitzada i exclusiva és una realitat. Qualsevol persona pot utilitzar una impressora 3D a casa o a la oficina. Hi ha prou amb la impressora, el material d'impressió i un model virtual en 3D per imprimir projectes petits, independentment de la seva complexitat. Aquest fet implica que les fàbriques i les cadenes de producció quedin superades. La fabricació de productes adaptats a l'estil i les necessitats particulars no serà un problema.

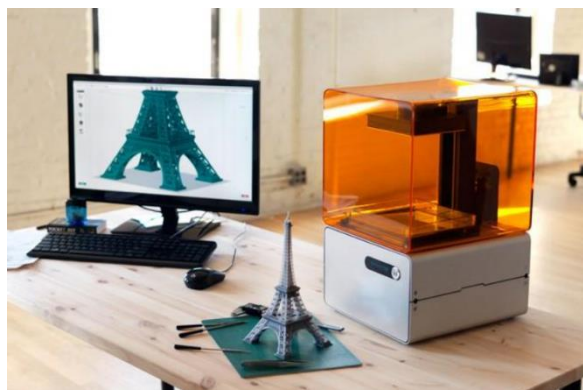


Figura 18. Escriptori d'una oficina amb una impressora 3D.

- **Elaboració sota demanda.** Les empreses tenen l'oportunitat de crear objectes especialitats o personalitzats en resposta a les peticions dels clients. Aquest fet implica una reducció de costos en la gestió i emmagatzematge d'inventari, ja que les empreses només imprimiran peces quan siguin necessàries.
- **Permet imprimir peces i acoblaments de gran complexitat.**

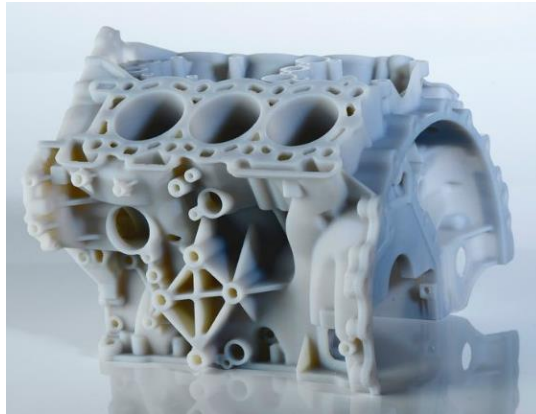


Figura 19. Conjunt d'un motor imprès en 3D.

- **Podem fer rèpliques d'objectes que necessitem.** Per exemple si estem dissenyant un producte mecànic per vendre, i tenim un engranatge, però necessitem un altre igual, podem crear-lo. O si se'ns ha trencat una peça d'un objecte, podem crear-la per arreglar-ho.



Figura 20. Mussol imprès en 3D comparat amb un fabricat de forma tradicional.

- **Transport digital.** Es poden enviar els dissenys digitals a qualsevol part del món sense cap cost mitjançant internet. Fet que provoca un estalvi important en transport i temps.

És una realitat que la impressió 3D té moltíssims avantatges, més enllà dels esmentats anteriorment. Però això no és suficient per concloure si aquesta tecnologia pot arribar a substituir alguns dels processos de fabricació industrials tradicionals.

Per això és necessari conèixer els *inconvenients* més rellevants:

- **Còpia de peces importants.** Qualsevol persona pot copiar l'objecte que sigui amb una impressora 3D. Això inclou, com per exemple, coses delicades i personals com claus, afectant la seguretat de les nostres llars o de qualsevol edifici.
- **Creació d'armes i objectes perillosos.** Es poden crear fins armes blanques i pistoles sense la necessitat d'aconseguir el permís necessari per l'obtenció d'aquests objectes.



Figura 21. Pistola fabricada mitjançant impressió 3D.

- **Problemes de drets d'autor.** La impressió 3D obre la porta al mercat negre de productes il·legals i els drets d'autor poden resultar vulnerats.
- **No existeix control de qualitat.** L'avantatge de que qualsevol pot fabricar un objecte i vendre'l, fent créixer la competència i reduint els costos, es pot convertir en un inconvenient perquè no existeix un control de qualitat de les peces fabricades.
- **Elevat consum d'energia.** El fet de fondre plàstic amb calor o làser provoca que les impressores consumeixin al voltant de 50 a 100 cops més d'energia elèctrica que el procés tradicional per fabricar un objecte del mateix pes.

- **Acabat final de la peça impresa.** Per poder imprimir en 3D, la majoria de les vegades s'han d'usar suports que mantinguin la peça estable durant el procés d'impressió o per sostenir la peça mentre s'imprimeix. L'àrea de la peça on hi havia els suports solen quedar aspres, amb taques i solen requerir un tractament posterior de poliment, allisat o sorrejat, per donar-li l'acabat desitjat.
- **Precisió d'impressió.** Les impressores 3D són bastant precises però depèn molt del disseny de la peça, del calibratge de la impressora i es requereix d'un procés de tractament posterior per poder aconseguir la precisió desitjada.
- **Contaminen i depenen dels plàstics.** Les impressores emeten, a causa d'escalfar el plàstic, unes partícules perjudicials per la salut de l'ésser humà afectant en pulmons o el torrent sanguini. Les impressores utilitzen dos tipus de plàstics: el PLA és biodegradable, però la majoria utilitza filaments ABS, que contaminen.
- **Temps de producció.** El procés d'impressió 3D comporta més temps en comparació amb el procés de producció tradicional a base de motlles. Aquesta desavantatge encara no permet l'ús d'aquesta tecnologia a la producció massiva.
- **Perillositat amb el sector alimentari.** Si s'imprimeix un ganivet en 3D amb plàstic ABS, poden sorgir problemes de salut ja que és una substància prohibida en molts països.
- **Debilitat de les peces.** A excepció de les peces impreses en metall, les peces fabricades amb impressores 3D solen ser més febles en un dels seus eixos. Per aquesta raó solen ser usades en àrees funcionals menys crítiques.

La impressió 3D és una tecnologia que està en progrés de millora per poder eliminar o reduir totes les desavantatges esmentades. És per això que fins fa pocs temps, ha sigut una tecnologia que s'ha utilitzat principalment per presentar prototips. Però això ha canviat, ja que a dia d'avui les impressores ja poden utilitzar materials que van més enllà dels plàstics, com per exemple titani, metall, ceràmica, alumini, vidre, etc.

Un altre aspecte important que cada cop està millorant més és la resolució i la precisió d'impressió de les peces.



### 2.1.5. Aplicacions

Les impressores 3D permeten crear una àmplia gamma d'objectes: des de components de maquinària fins a peces de decoració i joieria, passant per aliments, components espacials, pròtesis, etc.

Un dels sectors més afavorits amb aquesta tecnologia ha estat el sanitari, pel fet que permet obtenir productes amb acabats estructurals i estètics amb gran exactitud.

A continuació, es fa un resum de les principals aplicacions d'aquesta tecnologia:

- **Medicina.** La impressió 3D és de gran utilitat per produir pròtesis per a discapacitats com cames, braços, mans, trossos d'ossos, etc. A més a més, es poden imprimir parts del cos de la dimensió exacta que necessita el pacient (audiòfons, dentadures, etc.). Aquestes parts del cos humà estan formades d'un material compatible amb el teixit orgànic i pot arribar a utilitzar-se per reemplaçar òrgans que necessitin un transplantament.
- **Alimentació.** Ja és possible imprimir aliments en 3D. La tecnologia 3D garanteix aliments saludables perquè és possible seleccionar quins components els formen. Si una persona necessita certes proteïnes o si és al·lèrgica a qualsevol ingredient, les impressores poden modificar aquests factors. Per altra banda, es poden donar formes concretes als aliments per poder-los empassar més fàcilment. Aquest fet és útil per aquelles persones amb limitacions per mastegar amb normalitat i per donar formes curioses al menjar dels més petits de la casa.



Figura 22. Aliments impresos amb tecnologia 3D.

- **Sector aeroespacial.** Reduir els costos ambientals en la fabricació de les peces dels motors d'aviació, incrementar la llibertat del seu disseny i disminuir el consum de combustibles i les emissions de gasos contaminants són alguns dels beneficis derivats de l'aplicació de les modernes tècniques de fabricació additiva en la indústria aeronàutica

La pròpia NASA enviarà una impressora 3D a l'Estació Espacial Internacional perquè els astronautes puguin fabricar peces que considerin necessàries en l'espai.



Figura 23. Component aeroespacial imprès en 3D.

- **Construcció i arquitectura.** Moltes empreses d'arquitectura han descobert el potencial d'aquesta nova tecnologia, especialment per a la construcció de models. Gràcies a la impressió en 3D, és possible construir amb molta precisió i amb gran detall. El nombre d'arquitectes que utilitzen aquesta tecnologia està creixent ràpidament, ja que moltes empreses ja estaven familiaritzades amb el CAD, molt abans que l'ús de la fabricació additiva arribés a nosaltres.

En 2017, una empresa va presentar la seva primera casa impresa en 3D en només 24 hores. Una gesta en el sector de l'arquitectura, realitzada per un braç desmuntable capaç d'extruir formigó. Les iniciatives no s'aturen en els edificis: la impressió 3D permet la creació de ponts per exemple, ja siguin de metall.



Figura 24. Casa fabricada amb una impressora 3D.

- **Productes de consum.** Aquest sector utilitza la fabricació additiva per obtenir prototips i models de multitud d'articles per a la llar, equips esportius, joguines, etc. És el principal demandant de tecnologies de fabricació additiva que permetin la fabricació digital directa de components finals amb una alta complexitat geomètrica i amb necessitats de personalització.





Figura 25. Calçat imprès en 3D.

- **Sector automòbil.** La recerca constant de la innovació i la reducció dels costos de producció són aspectes clau en la indústria de l'automoció. Aquests factors, sumats a la contínua necessitat de reduir el temps de llançament de nous models al mercat, dificulta els treballs de disseny i fabricació en aquest sector. La impressió 3D arriba al món del motor i l'automòbil amb noves solucions per fer front als seus reptes. Les impressores 3D, aplicades al món de l'automoció, permeten desenvolupar models, prototips i fins i tot peces funcionals per a l'automòbil. Tot això, reduint els costos d'investigació, desenvolupament i fabricació.



Figura 26. Part davantera d'un cotxe fabricat amb tecnologia d'impressió 3D.

Fins i tot, un vehicle, el Strati de Local Motors, ha estat imprès en 3D i amb total funcionalitat. Fabricat a partir de plàstic en poc més de 46 hores i amb un motor elèctric amb una autonomia d'uns 200 quilòmetres.

- **Sector industrial.** Les empreses que compten amb un taller i amb maquinària poden patir un contratemps quan els hi falta una peça o se'ls espatlla una màquina. Els recanvis poden trigar dies o, fins i tot, setmanes i fer que l'activitat laboral de l'empresa es vegi afectada de forma negativa. La solució a aquests problemes pot residir en la impressió 3D.

Per tant, incorporar aquesta tecnologia en aquest sector implica una sèrie d'avantatges:

*Estocs ràpids:* la fabricació d'estris industrials per una impressora 3D farà que les botigues puguin disposar dels productes que venen sense necessitat de comptar amb altres proveïdors. Això accelerarà el procés de venda.

*Maquinària reparada a l'instant:* la reparació de qualsevol màquina d'una empresa pot suposar que hagi de paraitzar la seva producció durant diversos dies. En cas de poder fabricar les peces per a la màquina en el mateix taller gràcies a la impressora 3D, la producció no estarà paralitzada durant tant de temps.

*Estalvi de costos:* la fabricació de peces amb una impressora 3D té un cost molt inferior al que comportaria la reparació de la maquinària.

*Obertura de vies de negoci:* les impressores 3D genera a les empreses noves vies de negoci amb què augmentar la seva productivitat.



Figura 27. Engranatges impresos en 3D.

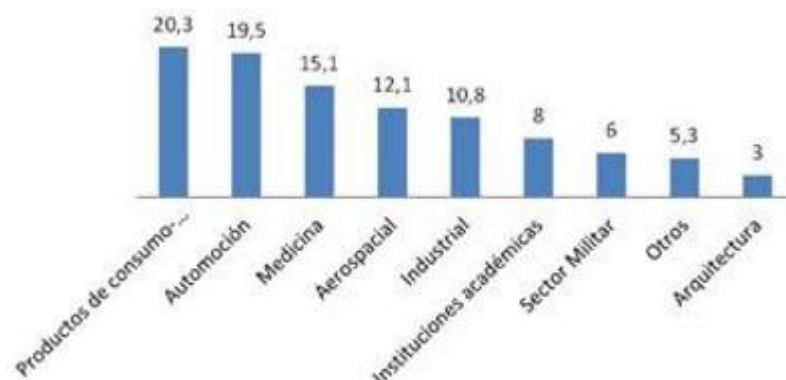


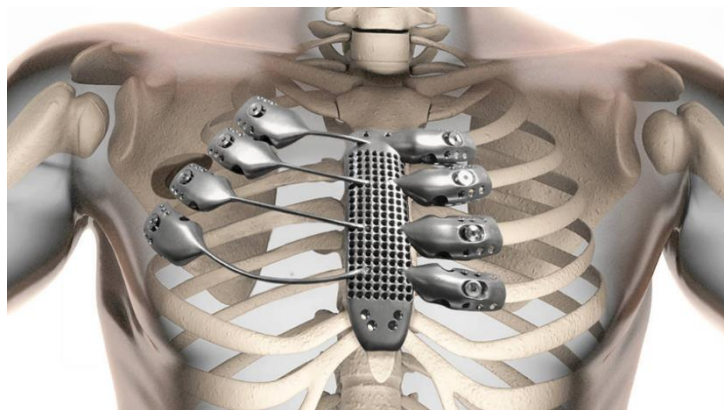
Figura 28. Fabricació additiva per sector (%).

### **2.1.6. Impressió 3D en el futur**

El món està per entrar al que alguns anomenen la "nova revolució industrial". Les fabriques 4.0 són l'aposta per recuperar els nivells de producció que alguns sectors han perdut, augmentant la qualitat i reduint els costos; per aconseguir això, les impressores 3D són la solució. Aquests aparells futuristes ja estan funcionant en diversos sectors productius com una de les eines més importants per millorar els seus processos de fabricació. La branca automotriu, farmacèutica, aeroespacial, biomèdica i d'electrodomèstics, utilitzen les impressores 3D per fabricar peces amb màquines intel·ligents en una porció de temps exponencialment menor que amb els mètodes tradicionals.

Les impressores 3D donen forma a peces de tot tipus sense cap tipus de soldadures, muntatges o unions.

En un futur no molt llunyà, aquest tipus de manufactura estarà mundialment estesa ja que els nostres ordinadors estan adquirint l'habilitat de crear productes directament d'arxius digitals, de la mateixa manera que imprimim en paper. Estem entrant en una nova època, en la qual la línia que separa el món digital del món físic es tornarà cada vegada més borrosa. Així, que es podria dir que la impressió 3D canviarà el món de la fabricació tal i com el coneixem.



*Figura 29. Transplantament d'unes costelles impreses en 3D.*

## 2.2. BOMBES D'AIGUA

### 2.2.1. Definició

Una bomba d'aigua és una màquina capaç de transformar l'energia amb la qual funciona (generalment mecànica o elèctrica) en energia del fluid que intenta moure, és a dir, subministra al fluid el cabal i la pressió necessària per a complir una determinada funció.

En la indústria, el correcte funcionament i manteniment d'una bomba és fonamental per al rendiment i productivitat de tot el sistema.

### 2.2.2. Classificació general

Hi ha una gran varietat de sistemes d'alimentació d'una bomba d'aigua: electricitat (voltatge de CA i CC), combustible, vapor, aigua, sistemes hidràulics, sistemes de gas natural, sistemes pneumàtics o d'aire comprimit, sistemes manuals (recordem les velles bombes de pou) i sistemes per energia solar.

De tots, només veurem les de major comercialització: electricitat i combustible.

Quant a l'ús de la bomba, hi ha una àmplia varietat. No obstant això, hi ha quatre aplicacions fonamentals i aquestes són les que detalla el gràfic de més avall.

Cal assenyalar que, independentment del tipus o aplicació, les bombes d'aigua també poden ser submergibles, és a dir, poden introduir-se en el líquid que necessitem elevar o extreure.



Figura 30. Classificació bombes d'aigua

Per iniciar el moviment del líquid es necessita d'una energia generada per un motor. Si la bomba funciona utilitzant un motor d'explosió per combustible s'anomena motobomba, i si es tracta d'un motor elèctric es denomina electrobomba.



Figura 31. Electro bomba



Figura 32. Motobomba

### **Bombes per aigües residuals**

Aquest tipus d'equips s'utilitzen especialment per moure grans quantitats d'aigua que estan brutes o carregades de partícules. Per això cal requerir d'una bomba d'aigua que pugui filtrar partícules de certes mides. Depenent de la brutícia, hi ha motobombes que poden moure grans o petites partícules. Per això cal buscar el diàmetre màxim que accepten aquest tipus de bombes per evitar que es taponin.



Figura 33. Bomba submergible per a aigües residuals

### **Bombes per aigües netes**

Si l'objectiu és regar àrees verdes, hortes o jardins, o bé extreure aigua d'estanys, rierols o aigua de pluja acumulada, entre altres, la bomba adequada és la de aigües netes.

### **Bombes per major pressió d'aigua**

Aquest tipus de bombes d'aigua ajuden a sostenir la pressió en tot un habitatge o edifici, generalment si cal pujar l'aigua d'un pis a un altre i les condicions no són favorables. També s'utilitzen per extreure aigua de pous.



*Figura 34. Bomba per major pressió d'aigua*

### **Bombes per major cabal d'aigua**

Generalment aquest tipus de bombes d'aigua s'especialitzen en realitzar treballs molt pesats, sent a més equips autònoms ja que treballen amb combustible. Això els hi dona hores contínues de treball. Poden moure grans quantitats d'aigua en temps rècord.



*Figura 35. Bomba per major cabal d'aigua*

### 2.2.3. Components principals

Les principals parts que conformen una bomba d'aigua són:

- **La carcassa:** és el cos principal de la bomba i li dona forma a tota l'estructura. Generalment ha de ser anticorrosiu, d'acer inoxidable o ferro colat si no és submergible.
- **Entrada i sortida:** coneguts com a aspiració i expulsió del fluid.
- **Impulsor, rotor o rodets:** és el dispositiu que es fa servir per poder impulsar el fluid contingut en la carcassa. Poden ser de tipus aspes, àleps, etc.
- **Eix del rotor:** sosté el rotor perquè ell mateix pugui girar sobre aquest.
- **Coixinets o rodaments:** manté en el seu lloc l'eix del rotor.
- **Segells, retenidors i anells:** la seva funció és mantenir segellat la bomba de qualsevol filtració interna.
- **Panell de Control:** és tot el sistema de comandament de la bomba, com per exemple interruptors, llums, botons, etc.
- **Motor:** és el dispositiu que permet moure l'eix perquè el fluid pugui passar d'un costat a un altre. Depenent de la potència del mateix, podrà transportar més aigua en el menor temps possible. El motor pot contenir altres peces especials, com ventilador, bobina, imants, etc..

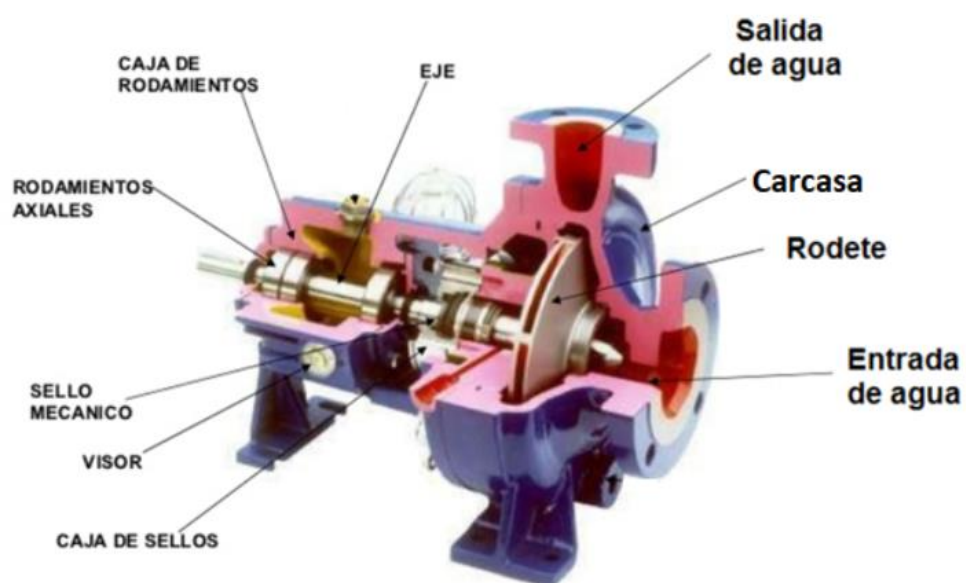
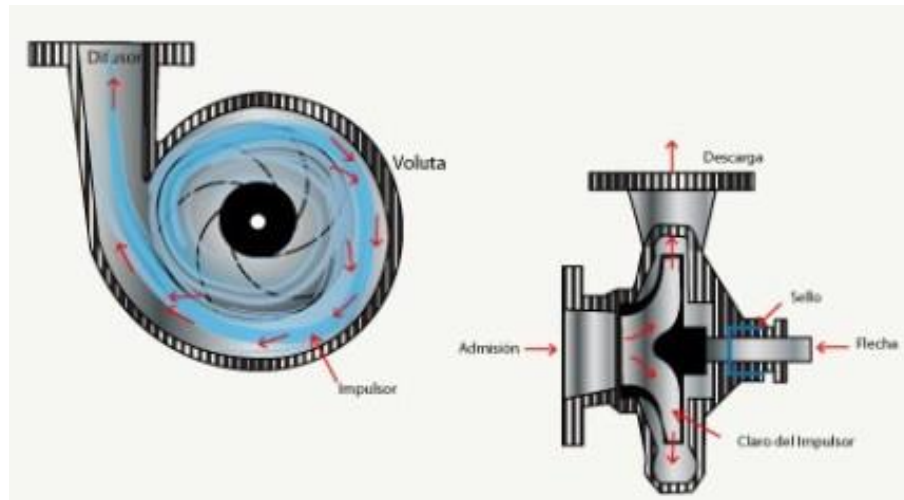


Figura 36. Parts principals d'una bomba d'aigua



### **2.2.4. Funcionament**

El funcionament és molt senzill, l'aigua és aspirada pel tub d'entrada de la bomba d'aigua per després ser impulsada per un motor que utilitza com qualsevol motor, bobines i imants per crear un camp magnètic i així aconseguir que l'impulsor giri d'una manera contínua. Llavors, a mesura que el rotor gira, es mou el fluid alimentant així la bomba.



*Figura 37. Recorregut de l'aigua per l'interior d'una bomba*

Recordem que tal com ho mostra la imatge de dalt, les pales van impulsant els fluids de manera molt forta. Hi ha diferents classes de rotors o impulsors, que al cap i a la fi fa que el fluid passi molt ràpidament des de l'entrada a la sortida.

L'objectiu d'aquestes pales de l'impulsor és que l'aigua entri al centre o l'ull del rotor fent que la força centrífuga sigui tan forta per la compressió del fluid, que això genera una pressió fent que el fluid surti amb rapidesa i gran cabal, sent aquest el propòsit final

Per tant, no es tracta solament de passar fluid d'un costat a un altre, és estalviar temps i passar gran quantitat de fluid, fins i tot elevar el fluid des d'una altura a una altra.



### **2.2.5. Utilitat**

Hi ha múltiples funcionalitats, com per exemple:

- Reg tradicional o per aspersió d'àrees verdes, hortes i jardins.
- Extracció d'aigua d'estanys, rierols, fonts o aigua de pluja acumulada.
- Subministrament d'aigua de serveis i bombament d'aigua dolça neta, aigua de pluja o aigua amb lleuger contingut d'escuma.
- Extracció d'aigua de soterranis inundats.
- Extracció de gasoil, oli i altres fluids.
- Ompliment i buidatge de piscines.
- Circulació de líquid per a la refrigeració dins dels motors.
- Impulsar aigua a zones més altes.

## 3. MARC PRÀCTIC

En aquest apartat es posaran en pràctica alguns dels conceptes explicats en el marc teòric i s'explicarà detalladament el procés del disseny de la bomba d'aigua, així com tots els problemes sorgits durant la impressió 3D o el seu muntatge, i les solucions proposades.

### 3.1. SELECCIÓ TIPUS DE BOMBA

Des d'un principi la idea i l'objectiu del projecte ha sigut dissenyar una bomba-trepant.

És una bomba que estarà accionada per un trepant, és a dir, no necessitarà ni motor elèctric ni de combustió propi per a funcionar.

Com que la necessitat que es vol cobrir és aconseguir dissenyar i construir una bomba de caràcter domèstic, que sigui eficaç i de fàcil utilitat, sense cobrir la necessitat de dissenyar una bomba que treballi amb grans quantitats de fluid o a escala industrial, la bomba serà de petites dimensions que permetrà, en un principi, bombejar aigua uns pocs metres, com per exemple, extreure aigua d'estanys de jardí, aigua de pluja acumulada, soterranis inundats, etc.

A continuació es mostren algunes imatges d'aquest tipus de bomba que serviran per agafar algunes idees de com dissenyar la bomba.



Figura 38. Diferents tipus de bomba d'aigua-trepant

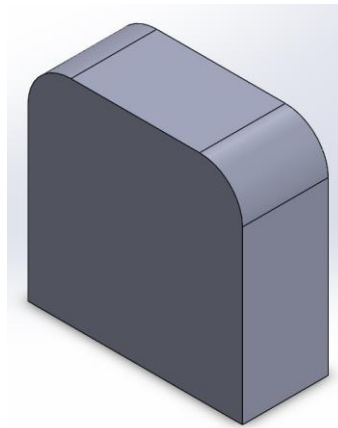
## 3.2. DISSENY ELEMENTS IMPRESSOS EN 3D

### 3.2.1. Disseny i dimensionat del cos principal I i rodet

Primer s'ha de plantejar quina forma tindrà el cos principal de la bomba i les seves dimensions.

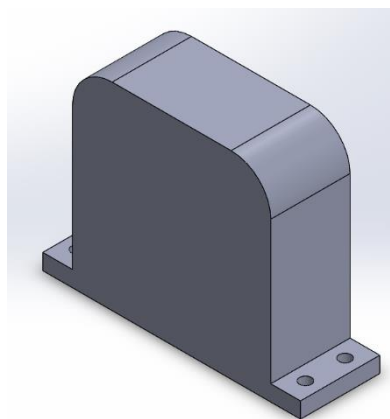
La forma més simple del cos principal per evitar problemes d'impressió és quadrada o rectangular. Per tant podem partir d'un quadrat de 100x100x15 mm.

Per fer-la més atractiva estèticament podem fer-li dos arrodoniments a la part superior:



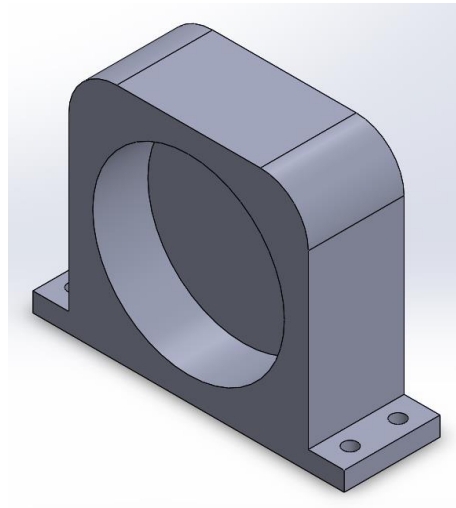
*Figura 39. 1r pas del disseny del cos principal*

El següent pas és assegurar l'estabilitat de la bomba quan aquesta bombegi aigua, ja que al girar a altes revolucions per minut, no serà capaç de mantenir-se quieta. Per tant, afegim dues platines amb 2 forats passants de diàmetre 6 a cada una per poder-la fixar allà on es vulgui utilitzar la bomba:



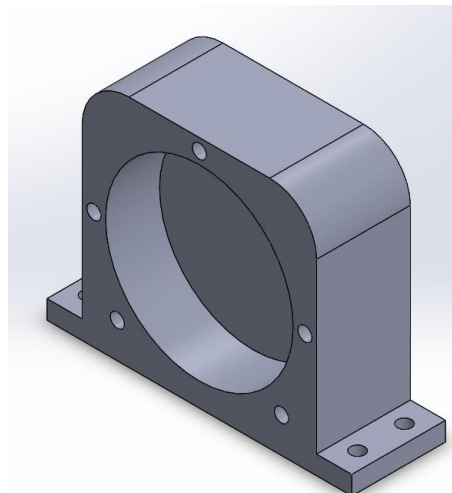
*Figura 40. 2n pas del disseny del cos principal*

Seguidament s'ha de construir la cambra on anirà allotjat el rodet. Es farà el més gran possible tenint en compte que al seu voltant també s'han de realitzar els forats que s'encarregaran de segellar la bomba amb una hipotètica tapa. És evident que la cambra ha de ser rodona perquè el rodet també ho serà. Per tant, amb aquestes condicions podem dissenyar una cambra de diàmetre 80 mm i 14 mm de gruix per exemple:



*Figura 41. 3r pas del disseny del cos principal*

Això ens permetrà realitzar forats al seu voltant de diàmetre 6. Es construeixen 5 forats repartits per tota la cara davantera del cos principal:



*Figura 42. 4t pas del disseny del cos principal*

Per anar acabant, és moment de dissenyar els tubs d'entrada i sortida del fluid. La diferència entre el diàmetre exterior i interior ha de ser de 6 mm de diàmetre per evitar problemes d'impressió. A més a més, com més gran siguin els forats, més fàcils seran d'imprimir. Consultant les mides normalitzades de mànegues, hi ha una de 19 mm de diàmetre. Aquesta mida pot ser efectiva. Per tant, el diàmetre exterior serà de 19 mm i l'interior de 13 mm.

Per acabar, cal decidir la situació d'aquests tubs. Basant-nos en les bombes consultades en la part teòrica i en les imatges de l'apartat 3.1. la millor situació és a la tangent de la cambra del rodet. Dins de les possibilitats que hi ha, una és situar tant l'entrada com la sortida a la part superior de la bomba:

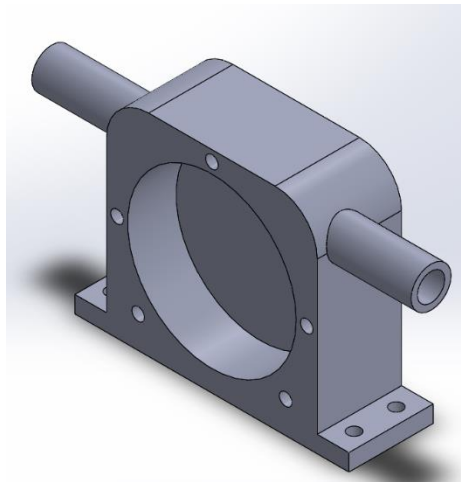


Figura 43. 5è pas del disseny del cos principal

En la següent imatge veiem que s'ha dissenyat de forma diferent l'entrada i la sortida del canal de flux. Més endavant es veurà si el caudal que proporciona la bomba canvia si es canvia el sentit de gir de l'eix (el trepant disposa de dos sentits de gir).

Per tant podem dir que l'entrada i la sortida són reversibles.

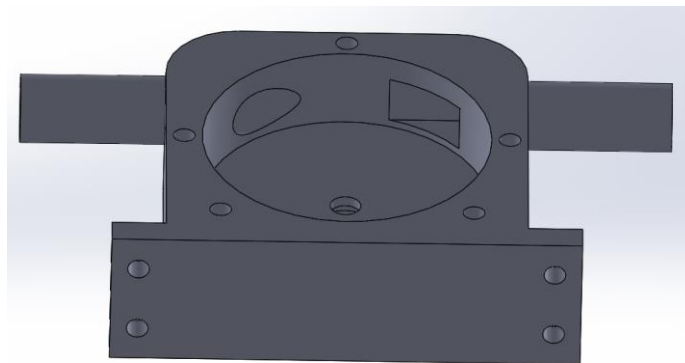


Figura 44. 6è pas del disseny del cos principal

El rodet ve determinat directament per la dimensió de la cambra on va situat. Per tant, el diàmetre exterior del rodet ha de ser de 80 mm.

Una condició important és que l'espai entre aspes ha de ser més o menys igual que el canal de sortida de la bomba. D'aquesta manera tot el fluid que s'acumuli dins del volum que forma l'espai entre aspa i aspa serà expulsat pel conducte de sortida:

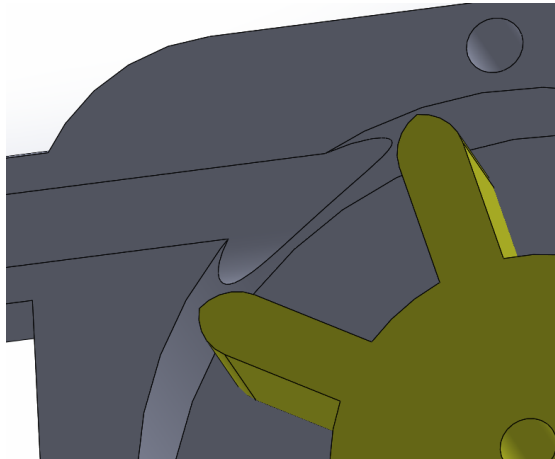


Figura 45. Distància mínima entre les aspes del rodet

Com a conseqüència d'aquesta condició, el rodet ha de tenir 8 aspes que tenen un gruix considerable per tenir la suficient força per arrastrar el fluid.

Les aspes tenen la punta arrodonida per aprofitar més la seva llargada i, per tant, bombejar més aigua.

En aquest primer disseny, el rodet tindrà un diàmetre interior de 42 mm.

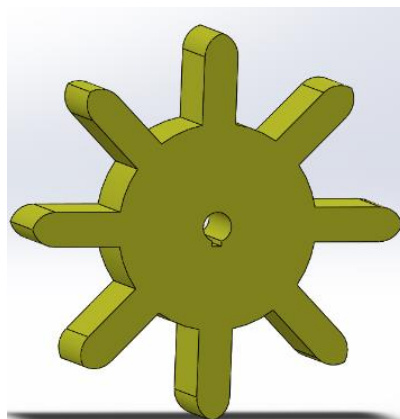


Figura 46. Model en SolidWorks del rodet

Com es veu en la imatge, el rodet té un forat central amb un xavater. Aquests elements estan explicats amb detall més endavant.

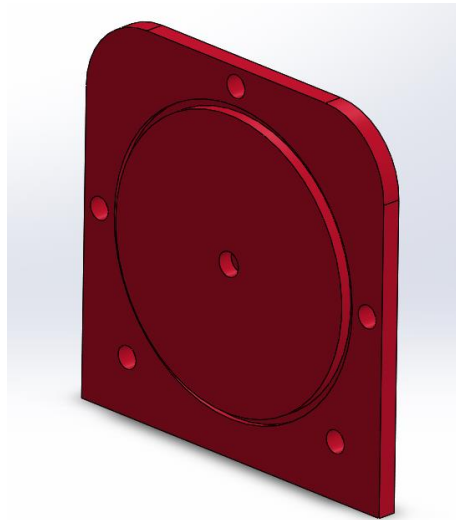
### **3.2.3. Tapa**

La tapa de la bomba, un cop dissenyat el cos principal, és un element fàcil de dissenyar.

Ha de tenir la mateixa forma que el cos principal i amb un gruix suficient per poder construir una regata per la junta encarregada d'evitar fugues d'aigua entre aquestes dues peces. La dimensió d'aquesta junta està explicada amb més detall en l'apartat 3.3.5.

A més a més el gruix de la tapa també ha de ser com a mínim de 3 mm per evitar complicacions en la impressió.

Els 5 forats que es situen més enfora de la peça són passants (explicació més detallada l'apartat 3.3.6.). En canvi, el forat central no ho és. Aquest orifici tindrà un diàmetre una mica més gran que el de l'eix per evitar friccions entre ells quan l'eix giri a altes revolucions per minut.



*Figura 47. Model en SolidWorks de la tapa*



### 3.3. ELEMENTS FUNCIONALS I/O ESTRUCTURALS

Encara que la intenció del projecte és construir una bomba d'aigua mitjançant impressió 3D, hi ha alguns elements anomenats funcionals i/o estructurals que són imprescindibles pel bon funcionament de la bomba, i que no és convenient imprimir-los. Són elements que en cas de ser impresos en 3D podrien afectar o alterar la funcionalitat de la màquina.

A continuació es mostra una imatge amb tots aquests elements comprats que incorpora la bomba. Seguidament s'explicarà un per un la seva funcionalitat, el tipus d'element escollit i el perquè.



Figura 48. Elements estructurals i/o funcionals de la bomba dissenyada

1. Eix mecanitzat	2. Femella M6	3. Xaveta
4. Reten	5. Rodament	6. Femella M5 (x5)
7. Anell Seeger	8. Volanderes M5 (x5)	9. Cargols M5 (x5)

Taula 5. Llegenda elements estructurals

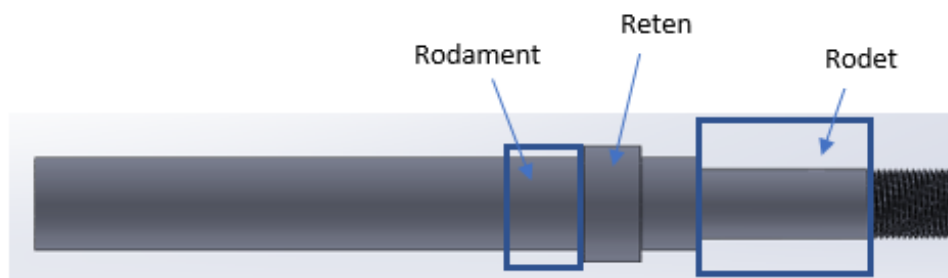
### **3.3.1. Disseny i dimensionat de l'eix**

L'eix és un element molt important que té la funció de transmetre el gir del trepant al rodet.

Considero que el diàmetre mínim que ha de tenir l'eix en el tram on s'introdueixi el rodet ha de ser de 6 mm perquè més petit implicaria aconseguir uns elements estructurals molt petits. Per exemple, el catàleg de xavetes, com es veurà més endavant, el diàmetre mínim per aconseguir una xaveta és de 6 mm. Un diàmetre superior a 6 mm no és necessari perquè per les necessitat a cobrir és més que suficient.

L'eix dissenyat té canvis de diàmetre per aconseguir que el rodament, el rodet i el reten estiguin fixes i no es puguin desplaçar ni cap a l'esquerra ni cap a la dreta.

La idea és dissenyar un eix amb aquestes característiques:



*Figura 49. Model en SolidWorks de l'eix*

Analitzem l'eix de dreta a esquerra:

El primer canvi de diàmetre que es troba és el de 6 a 8 mm. Aquest canvi de diàmetre serà l'encarregat d'evitar el desplaçament cap a l'esquerra del rodet. Es rosca l'eix per la part dreta per, posteriorment, mitjançant una femella, cargolar-la i fixar del tot el rodet.

Seguidament, es torna a augmentar el diàmetre fins a 10 mm. La seva cara dreta anirà encastada contra la paret del cos principal per evitar el desplaçament cap a la dreta de l'eix.

L'amplada del tram de l'eix de diàmetre 10 mm haurà de ser igual a la del reten. El reten no podrà moure's perquè cap a la dreta estarà encastat contra el cos principal i cap a l'esquerra es trobarà el rodament que li evitarà desplaçar-se, ja que el diàmetre del rodament és superior al del reten.

Es torna a realitzar una altra disminució de diàmetre a 8 mm per evitar el desplaçament cap a la dreta del rodament. Per acabar de fixar-lo, a la part esquerra del rodament anirà acoblat un anell seeger amb la funció de fixar l'eix i el rodament.

La longitud de l'eix la determinarem més endavant però el que és evident és que ha de ser més llarga que la longitud total de la bomba, ja que un tros ha de sobresortir de la bomba per poder introduir el trepant en l'eix.

La següent imatge il·lustra perfectament l'explicació anterior:

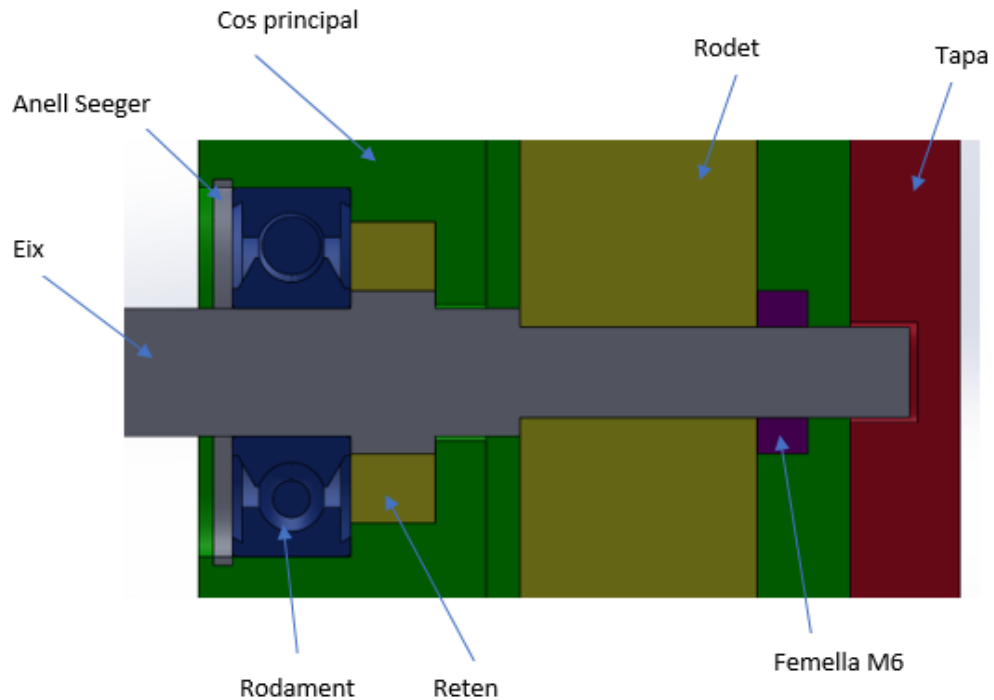


Figura 50. Disposició dels elements estructurals en l'eix

Les mides de la zona del rodament, reten i seeger es determinaran més endavant, ja que són elements importants i necessiten d'un procés de selecció i explicació detallat.

### **3.3.2. Dimensionat de la xaveta**

La xaveta és l'element encarregat d'evitar el lliscament del rodent quan l'eix giri a altes revolucions, és a dir, la seva funció és que l'eix i el rodent girin conjuntament.

La dimensió de la xaveta ve determinada pel diàmetre de l'eix. Per escollir-la i també saber la dimensió del xaveter de l'eix i del rodent és necessari consultar un catàleg.

Les primeres mesures que ens proporciona el catàleg és  $b \times h$  on:

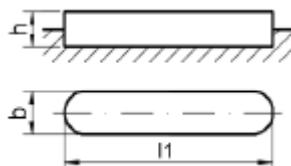


Figura 51. Dimensions xaveta

La longitud és una dada estàndard, és a dir, s'escull en funció de la necessitat del client. En el nostre cas, com el rodet té una amplada de 14 mm, escollirem una xaveta que quedi totalment a l'interior del rodet i que pels extrems hi hagi un mínim de 2 mm (per evitar problemes d'impressió).

El diàmetre de l'eix on va incorporat el rodet és de **6 mm**.

Per tant, una bona opció és una **xaveta** de dimensions **2x2x10**.

Un cop triada la xaveta, el següent pas és saber les dimensions dels xaveters, és a dir, quina proporció de la xaveta anirà introduïda en el rodet i quina en l'eix.

Com es pot veure en el catàleg (imatge inferior), els 2 mm de gruix de la xaveta es reparteixen en 1,1 mm ( $t_1$ ) de profunditat en l'eix i 0,9 mm en el rodet.

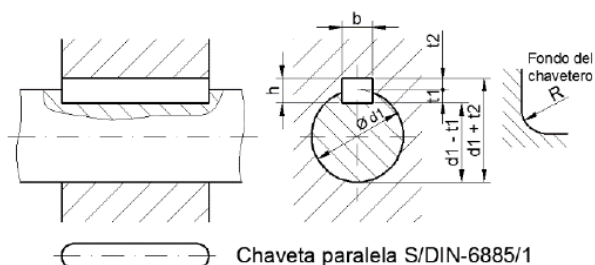


Figura 52. Dimensions xaveter

Ø eje d mm desde- hasta	Medida chaveta b x h mm	Medidas del chavetero en el cubo				Medidas chavetero del eje para chavetas paralelas y de cuña		Medidas de los ejes en el cubo de la rueda	
		Chaveta paralela S/DIN 6885/1		Chaveta de cuña S/DIN 6886, 6887		$t_1$ m/m	Tol. admisible (en altura) m/m	Ø m/m desde- hasta	Tol.H-7 m/m
		d + $t_2$ m/m	Tol. admisible (en altura) m/m	d + $t_2$ m/m	Tol. admisible (en altura) m/m				
6-8	2x2	d+0,9		-	-	1,1		6-10	+0,015 0
8-10	3x3	d+1,3		-	-	1,7			
10-12	4x4	d+1,6	+0,1	d+1,4	-0,1	2,4	+0,1	10-18	+0,018 0
12-17	5x5	d+2,1		d+1,9		2,9			
17-22	6x6	d+2,6		d+2,1		3,5		18-30	+0,021 0
22-30	8x7	d+3,0		d+2,4		4,1			

Figura 53. Catàleg xaveta

### **3.3.3. Dimensionat del rodament**

El rodament és la part essencial i bàsica de qualsevol màquina que tingui parts mòbils. És l'element que serveix com a suport a un eix i sobre el qual aquest gira.

Les seves funcions principals són reduir la fricció entre diferents elements mòbils, transferir el moviment, és a dir, recolzen i guien components que giren entre si i, finalment, també transfereixen forces.

La meva idea inicial i principal és utilitzar un rodament rígid de boles, ja que tenen un camp d'aplicació ampli i són els més utilitzats industrialment.

Són de senzill disseny i no desmuntables, adequats per a altes velocitats de funcionament, i a més requereixen poc manteniment i són capaços de suportar grans càrregues radials.



*Figura 54. Rodament de boles*

A l'hora d'escollir un rodament, el factor principal és el diàmetre de l'eix. No obstant, hi ha diferents criteris de selecció. Veiem si els més importants són compatibles amb el rodament rígid de boles:

- *Espai disponible*

En molts casos, les dimensions principals d'un rodament estan predeterminades pel disseny de la màquina. Per exemple, el diàmetre de l'eix determina el diàmetre del forat del rodament. Per als eixos de diàmetre petit, com el nostre cas, es pot utilitzar qualsevol tipus de rodament de boles, i els rodaments rígids de boles són els més utilitzats. Un altre tipus de rodament habitual per aquests casos és el d'agulles.

- *Càrregues*

La magnitud de la càrrega és un dels factors que sol determinar la mida del rodament.

Els rodaments de boles s'utilitzen, habitualment, quan les càrregues són de lleugeres a normals.

Les càrregues que haurà de suportar el nostre rodament són radials i lleugeres, per tant, el rodament de boles és l'adequat.

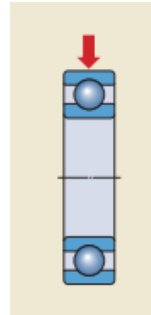


Figura 55. Càrregues aplicades en un rodament

- *Velocitat de funcionament*

La velocitat a la qual poden funcionar els rodaments està limitada per la temperatura de funcionament admissible. Per tant, els tipus de rodaments que funcionen amb fricció baixa i generen calor per fricció baix són els més adequats per al funcionament a alta velocitat. Quan les càrregues són purament radials, poden aconseguir-se les velocitats més altes amb rodaments rígids de boles.

La velocitat del nostre rodament serà la que proporcioni el trepant. Un trepant estàndard pot oferir unes 3000 rpm. Al tractar-se d'un valor baix, es podria dir que qualsevol rodament és capaç de suportar-lo.

- *Desalineació*

La desalineació angular entre l'eix i el suport ocorre quan l'eix es desvia (es dobla) a causa de la càrrega de funcionament. Els rodaments rígids de boles poden suportar només uns minuts de desalineació angular sense danyar el rodament.

L'eix dissenyat no té motius per doblegar-se, ja que no suporta grans pesos i la seva longitud és curta, per tant no pateix flexió tampoc.

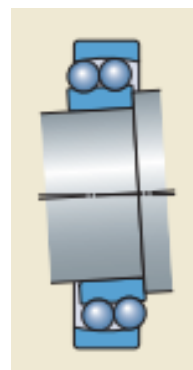


Figura 56. Desalineació rodament

- *Temperatura*

Mentre un rodament està en funcionament, les seves dimensions canvien com a resultat de les transformacions estructurals que es produeixen a l'interior del material. La temperatura, el temps i la tensió influeixen sobre aquestes transformacions.

Per evitar els canvis dimensionals inadmissibles com a resultat de la transformació estructural, els components del rodament se sotmeten a un tractament tèrmic especial.

La temperatura, en aquest cas, no és un factor important per escollir el rodament, ja que la bomba no treballarà a temperatures extremes.

- *Rigidesa*

La rigidesa d'un rodament es caracteritza per la magnitud de la deformació elàstica (resiliència) del rodament amb una càrrega. En general, aquesta deformació és molt petita i pot ser ignorada.

- *Funcionament silenciós*

Al tractar-se, segurament, d'un rodament de petites dimensions i que no girarà a velocitats molt altes, a priori no generarà soroll.

Per tant, s'ignora aquest criteri de selecció.

- *Muntatge i desmuntatge*

S'ha dissenyat la bomba de tal manera que el rodament sigui fàcil de muntar i desmuntar. Per tant, en aquest aspecte no hi haurà cap tipus de problema.

- *Cost i disponibilitat*

El cost és un factor important per qualsevol empresa depenen de la seva situació econòmica.

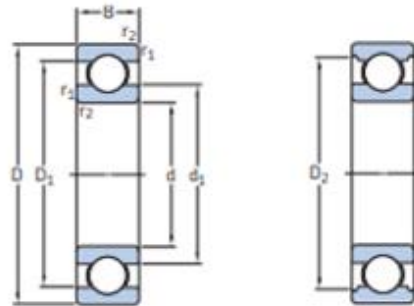
En aquest cas, el preu del rodament no serà costós ja que es tractarà, el més probable, d'un rodament de petites dimensions.

Un cop analitzat tots els criteris, arribem a la conclusió que el rodament rígid de boles és adequat per cobrir les nostres necessitats.

A la figura 52 trobem la pàgina adequada del catàleg de SKF (empresa dedicada a la fabricació de rodaments) per escollir el rodament de boles adequat, que depèn exclusivament del diàmetre de l'eix on anirà allotjat.



El diàmetre de l'eix on anirà allotjat el rodament és de **8 mm**. Per tant, disposem de 4 tipus de rodaments possibles. Els 4, en realitat, podrien ser útils, però recordem que el rodament i el reten van agafats de la mà, és a dir, és imprescindible que el diàmetre exterior del rodament sigui superior al del reten. Avanço que el diàmetre exterior del reten és de 18 mm (més endavant es veurà el perquè). Per tant, descartarem la primera opció automàticament. La segona opció, al tractar-se només d'un mil·límetre de diferència, és millor assegurar-se i saltar a la següent mesura. La tercera i quarta opció són viables però ens decantem amb la tercera per què és més que suficient per les nostres necessitats.



Dimensiones principales			Capacidad de carga básica		Carga límite de fatiga	Velocidades nominales		Masa	Designación
d	D	B	dinámica C	estática C <sub>0</sub>	P <sub>u</sub>	Velocidad de referencia	Velocidad límite		
mm			kN		kN	r. p. m.		kg	-
7	14	3,5	0,78	0,26	0,011	100 000	63 000	0,0022	618/7
	17	5	1,06	0,375	0,016	90 000	56 000	0,0049	619/7
	19	6	2,34	0,95	0,04	85 000	53 000	0,0076	* 607
	22	7	3,45	1,37	0,057	70 000	45 000	0,012	* 627
8	16	4	0,819	0,3	0,012	90 000	56 000	0,003	618/8
	19	6	1,46	0,465	0,02	85 000	53 000	0,0071	619/8
	22	7	3,45	1,37	0,057	75 000	48 000	0,012	* 608
	24	8	3,9	1,66	0,071	63 000	40 000	0,018	* 628
9	17	4	0,871	0,34	0,014	85 000	53 000	0,0034	618/9
	20	6	2,34	0,98	0,043	80 000	50 000	0,0076	619/9
	24	7	3,9	1,66	0,071	70 000	43 000	0,014	* 609

Figura 57. Catàleg SKF (rodament)

En conclusió, el **rodament** escollit és un el **SKF 8x22x7**.

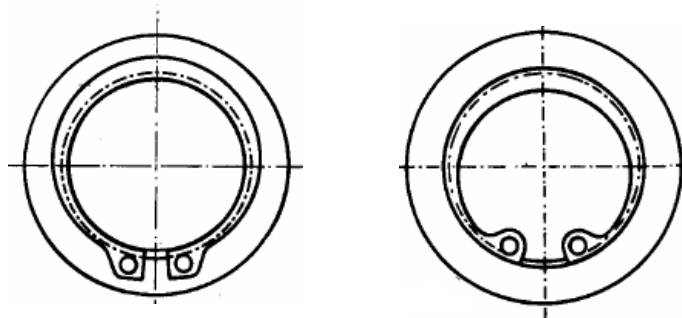


Figura 58. Rodament SKF 8x22x7 escollit

### **3.3.4. Anell Seeger**

L'anell seeger és l'element encarregat d'evitar que el rodament es desplaci fora de la bomba. La seva dimensió depèn exclusivament del diàmetre del rodament. Anteriorment s'ha decidit utilitzar un rodament de diàmetre exterior 22.

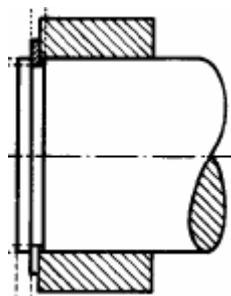
Primerament, hem d'escollir entre dos tipus d'anells seeger, com es mostra a la imatge:



*Figura 59. Possibles 2 tipus d'anell seeger*

Per al nostre disseny l'opció adequada és la segona, ja que el seeger va situat dins del cos principal.

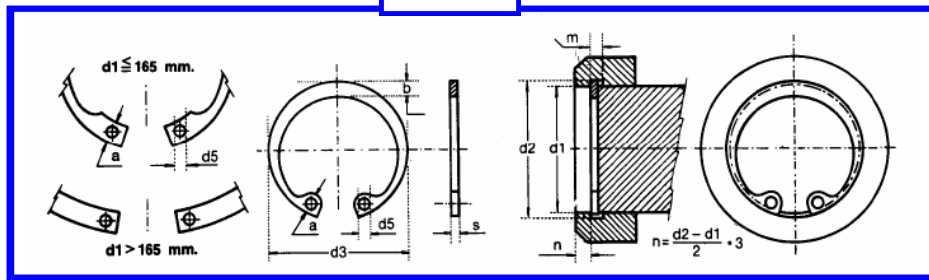
La primera opció s'utilitza quan es vol situar l'anell fora de la peça a fixar, però no és el nostre cas:



*Figura 60. Seeger situat fora de la peça*

El següent pas és determinar el gruix i el diàmetre de la ranura on anirà allotjat l'anell seeger. Aquestes dades venen donades per catàleg:

## DIN 472



Med.Nom.	ANILLO						RANURA		
d1	s h 11	d3	Tolerancia d3	a ≈	b ≈	d5 Min.	d2	Tolerancia d2	m Min.
8	0,80	8,7	+0,36 -0,16	2,4	1,1	1,0	9,9	+0,11	0,90
9		9,8		2,5	1,3		10,4		
10		10,8		3,2	1,4		10,9		
11	1,00	11,8		3,3	1,5	1,2	11,4		1,10
12		13,0		3,4	1,7	1,5	12,5		
13		14,1		3,6	1,8	13,6			
14		15,1		3,7	1,9	14,6			
15		16,2		3,8	2,0	15,7			
16		17,3		3,9	2,1	16,8			
17		18,3		4,1	2,2	17,8			
18		19,5	+0,42 -0,13	4,1	2,2	19,0	+0,15		
19		20,5		4,2	2,3	20,0			
20		21,5			2,4	21,0			
21		22,5			2,5	22,0			
22		23,5			23,0				

Figura 61. Catàleg anell seeger

Ens situem en  $d1=22\text{mm}$ , i veiem en la columna “**ranura**” que necessitem una ranura de  $\varnothing=23\text{ mm}$  amb una tolerància de  $+0.15$  i amb un **gruix de 1,10 mm**.

Per tant, el **seeger** escollit (subministrar per Rulemanes de Mayo), és un **DIN 472 per a  $\varnothing 22\text{mm}$** .

### 3.3.5. Elecció junta i reten

La junta i el reten són els dos elements encarregats d'evitar fuites d'aigua.

La junta és l'encarregada de segellar el cos principal i la tapa. Com s'ha vist en un dels apartats anteriors, la tapa de la bomba s'ha dissenyat amb una regata on va allotjada la junta.

Per tant, simplement s'ha hagut d'anar a un proveïdor, en aquest cas, Epidor, empresa dedicada exclusivament a juntes i retens, i comprar-la.

En aquesta empresa m'han subministrat al moment la junta desitjada, ja que vaig portar la tapa impresa i vam poder provar-la i veure si era la correcta en el mateix moment.

Unes de les condicions per escollir la junta va ser si la bomba treballaria a altes temperatures i quin fluid bombejaria. La meua resposta va ser que no i que el fluid seria aigua.

En conclusió, la **junta** escollida és una **tòrica**  $\varnothing_{int}=76\text{ mm}$  i  $e=2\text{ mm}$ .



Figura 62. Junta tòrica

El reten, en canvi, és l'encarregat d'evitar el flux d'aigua cap a la zona del rodament per garantir una vida útil mes llarga d'aquest.

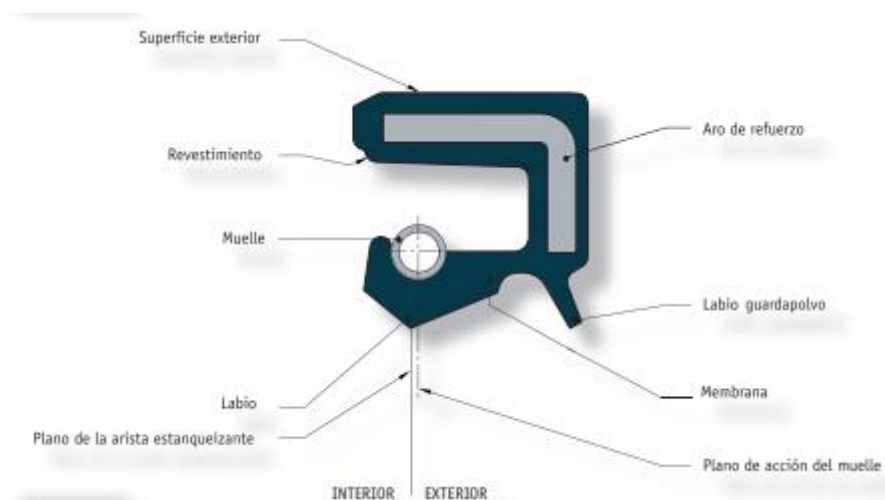


Figura 63. Secció d'un reten

Els paràmetres bàsics que defineixen un reten són:

- *Diàmetre de l'eix*

Com s'ha explicat anteriorment, el diàmetre de l'eix on anirà allotjat el reten és de **10 mm**.

- *Temperatura*

La temperatura dins de l'entorn del reten és un dels factors principals que dictamina la seva composició; per regla general, hi ha un rang de temperatures establertes que són òptimes per a aquest reten en concret.

Per exemple, hi pot haver un rang establert de 4 a 49 ° C. Si l'entorn operatiu fos massa fred, l'element podria tornar-se trencadís i, a altes temperatures, el material d'aquest segell podria mostrar una major elasticitat. Un augment en la temperatura també incrementa l'envel·liment de la goma i pot reduir a la meitat la vida útil teòrica de la goma.

Igual que en el rodament, la temperatura no és un factor determinant per escollir el reten, ja que la bomba no treballarà a temperatures extremes.

- *Pressió*

Igual que succeeix amb la temperatura, cada reten disposa d'una pressió recomanada per a un rendiment òptim. Un excés de pressió provoca que els retens es gastin més ràpidament i, en conseqüència, tinguin una vida útil més curta.

- *Velocitat*

Les velocitats molt altes afecten el rendiment i la vida útil del reten, les velocitats per sota i per sobre del rang recomanat provoquen fricció i per això tenen impacte sobre el material de segellat.

Igual que en el rodament, la velocitat del nostre reten serà la que proporcioni el trepant. Un trepant estàndard pot oferir unes 3000 rpm. Cal assegurar-se que aquest valor es trobi dins del rang permès del reten escollit.

Mitjançant el catàleg facilitat per Epidor, podem escollir el reten:

ØEJE	ØALOJ.	ALTURA	TIPO	GIRO	NºDBH	APLICACIÓN
9,00	22,00	7,00	Lx	L	9037	Industrial
9,00	22,00	10,00	Lx	L	9038	Industrial
9,00	30,00	7,00	Lx	L	9056	Industrial
9,00	26,00	7,00	Lx	L	9327	Industrial
9,00	24,00	7,00	Lx	L	9336	Industrial
9,30	26,00	11,00	Lx	L	8733	Amortiguador
9,50	16,00	4,00	Ls	L	8260	Honda Express
9,52	19,05	5,55	Lz	L	6206	Hoover Lavarropas
9,52	25,37	9,52	Lt	L	6208	Cummis Diesel
9,53	19,05	6,35	Lz	L	8494	Industrial
10,00	22,00	8,00	Lz	L	5816	De Carlo - Scania
10,00	22,00	5,00	Lx	L	5819	Hoover
10,00	19,00	7,00	Lx	L	6210	Hanomag
10,00	24,00	7,00	Lx	L	6211	Yelmo
10,00	19,00	6,50	Lz	L	8039	Sistema Vigía
10,00	26,00	8,00	Lx	L	8277	Industrial
10,00	20,00	5,00	Lx	L	8837	Toyota - Distribuidor
10,00	16,00	4,00	Lx	L	8883	Peugeot 405 - Distribuidor
10,00	16,00	5,00	Lx	L	9023	Industrial
10,00	18,00	5,00	Lx	L	9027	Industrial
10,00	18,00	7,00	Lx	L	9028	Industrial
10,00	20,00	6,00	Lx	L	9031	Industrial

Figura 64. Catàleg Epidor reten

Veiem que hi ha diferents opcions on el diàmetre interior del reten es de 10 mm. Tots aquells que tinguin un diàmetre igual o superior a 22 mm ( recordem que aquest és el del rodament i necessàriament ha de ser inferior) queden descartats. També descartem tots aquells on l'aplicació no sigui industrial.

Per tant, les possibilitats s'han reduït a les 4 últimes opcions. En realitat, qualsevol dels 4 seria viable però ens decanem per el de 18x10x5 perquè per cobrir les nostres necessitats és més que suficient.

En conclusió, el **reten** escollit **10x18x5 mm**.



Figura 65. Reten 10x18x5 escollit

### 3.3.6. Cargolaria

La cargolaria serà la responsable d'unir el cos principal i la tapa.

La idea inicial era fer forats roscats i no passants però, degut a les prestacions de la impressora 3D (és molt difícil fabricar rosques mitjançant la impressora 3D de la Universitat) es va optar per fer tot el contrari, és a dir, forats passants i sense roscar.

Els **cargols** escollits són **M5x50 mm** amb les seves respectives volanderes i femelles.

A més a més, també s'ha hagut de comprar una femella M6 que serà l'encarregada d'empènyer el rodet i fixar-lo.

### 3.3.7. Dimensionat del cos principal II

Fins ara, només s'havia dimensionat la part del cos principal on va allotjat el rodet perquè per acabar de definir-lo era necessari conèixer quines dimensions tindrien el rodament, l'anell seeger i el reten.

Si fem la suma de l'amplada d'aquests tres elements (5+7+1,1) obtenim una amplada total de 13,1 mm. Llavors, donant una mica de marge, el cos principal s'amplia 17 mm més.

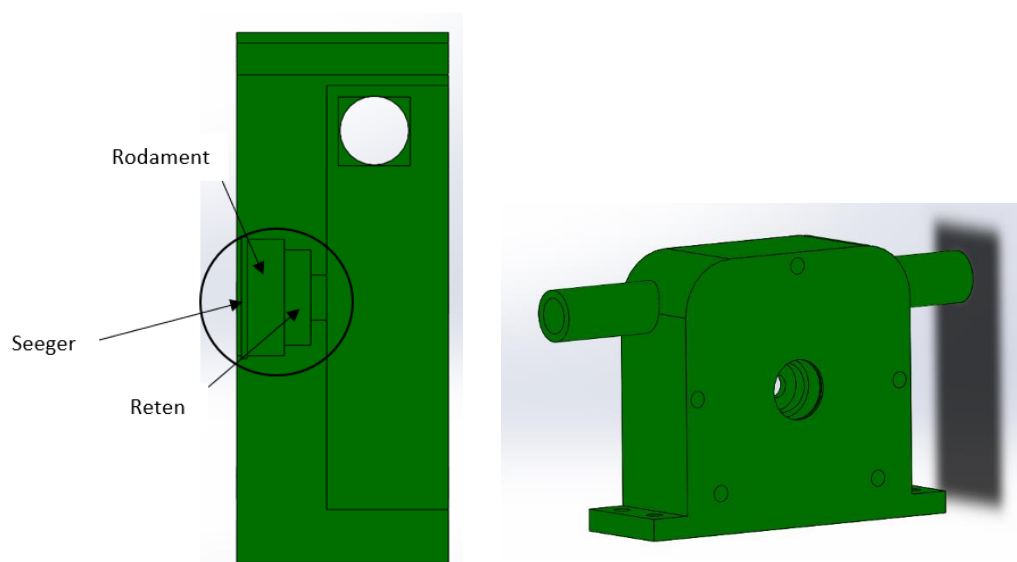


Figura 66. Model SolidWorks del cos principal definitiu

Cal remarcar la importància de les dimensions del rodament i reten. Ja s'ha explicat que han d'anar agafats de la mà. En aquest projecte s'ha decidit fer una combinació concreta (22 i 18 mm respectivament) però és evident que n'hi ha d'altres però he considerat que aquesta serà una combinació més que correcte per cobrir les necessitats desitjades.



### 3.4. TOLERÀNCIES PREVIES

Com s'ha explicat amb anterioritat, a la part teòrica, la impressió 3D és una tecnologia amb un inconvenient a tenir molt en compte, les toleràncies.

Fins ara, s'han dissenyat tots els elements de la bomba d'aigua a cota 0. Això només seria possible si la impressora tingués la capacitat de fabricar les peces sense error, perfectes, però com ja sabem, això és impossible.

Encara que les impressores 3D són bastant precises, depenen molt del disseny de la peça i del calibratge de la impressora. És per això, que serà inevitable haver de fer algun procés de tractament posterior per poder aconseguir la precisió desitjada.

Es donaran unes toleràncies prèvies en algunes parts de la bomba per poder fer el mínim d'operacions de tractament posteriors:

**Forats:** són un dels punts més vulnerables a l'hora d'imprimir. La impressora acostuma a imprimir-los més petits del que són, i com més petits, més error. La bomba dissenyada disposa de molts forats, però només són alguns els que s'han de tenir en compte, els més petits. Per tant, els forats de Ø6 mm se'ls hi donarà una tolerància de +0,3 mm i als de Ø8 mm una de +0.2 mm.

**Tubs d'entrada i de sortida de la bomba:** s'han dissenyat de tal manera que entre el diàmetre interior i exterior dels tubs hi hagi un espessor de 3 mm de radi com a mínim per evitar problemes d'impressió.

**Ranura anell seeger:** l'amplada de la ranura on s'allotja l'anell seeger és molt petita, d'1,10 mm. Per tant, és un punt molt desfavorable per a la impressió 3D. Com que el seeger és un element important i no pot tenir joc, de moment no se li donarà cap tolerància. Després de la impressió, es valorarà la necessitat d'un tractament posterior.

**Rodet:** el diàmetre exterior que formen les aspes del rodet ha de ser una mica més petit que el diàmetre on va situat per evitar la fricció entre ells i, com a conseqüència, evitar una reducció de les revolucions per minut del rodet i del rendiment de la bomba.

Per aquest motiu, el diàmetre exterior (format per les aspes) del rodet tindrà una tolerància de -1.4 mm.

## 3.5. PROCÉS D'IMPRESSIÓ 3D

### 3.5.1. Selecció tipus d'impressió

Per imprimir les peces necessàries per la construcció de la bomba s'utilitza la impressora facilitada per la Universitat de forma gratuïta. Es tracta d'una impressora 3D Mendel Max XL v5 PRO.

Aquesta impressora disposa d'una gran àrea d'impressió i d'un sistema d'extrusió precís que permeten imprimir d'una manera senzilla des d'objectes petits fins a objectes de grans dimensions. Té un volum d'impressió de 380x220x200 mm aproximadament.

Compta amb llit calefactat que permet imprimir amb qualsevol filament termoplàstic com són l'ABS, PLA, PETG, Niló, Policarbonat, HIPS, etc.

A més a més, disposa d'una resolució que arriba fins a les 100 micres i amb una pantalla TFT de MKS que permet imprimir de forma autònoma.

Tots els components electrònics es troben protegits dins d'una caixa amb ventilació forçada per mantenir una temperatura estable i adequada pel correcte funcionament.

Una altra característica és que disposa de dos diàmetres d'extrusor: 1,75 mm i 2,85 mm.



*Figura 67. Impressora 3D Universitat*

El filament utilitzat és l'**ABS**. Recordem algunes de les característiques més importants:

- Polímer dur i rígid.
- Alta resistència mecànica i alta capacitat de mecanitzat.
- Molt resistent als impactes.
- Necessita llit calent.
- Efecte Warping.

El tipus d'impressió que s'utilitzarà és **FDM**.

### **3.5.2. Posta en marxa i configuració de paràmetres**

Cada impressora funciona a la seva manera. Poc a poc s'ha d'anar ajustant els paràmetres d'impressió per eliminar els defectes. El més recomanable és variar només un paràmetre per veure la diferència. Si s'intenta canviar tots alhora es possible perdre's.

Cada defecte pot tenir diferents causes que van associades a una solució. Els paràmetres més comuns per variar són:

- Temperatura d'extrusió, és a dir, la temperatura a la qual es fon el filament.
- Temperatura del llit, és a dir, la temperatura de la superfície on s'imprimeix.
- Velocitats: hi ha una gran varietat de velocitats que es modifiquen segons la fase d'impressió. Poden oscil·lar entre 10mm/s a 60mm/s.
- Retracció: paràmetre de la impressora per no extreure material mentre es desplaça d'una superfície a una altra.
- Gruix de capa.

En aquest projecte, l'acció de configurar els paràmetres per evitar el màxim de defectes possibles està dirigida per la Universitat. Porten temps imprimint moltes peces, per tant tenen experiència en aquesta tecnologia.

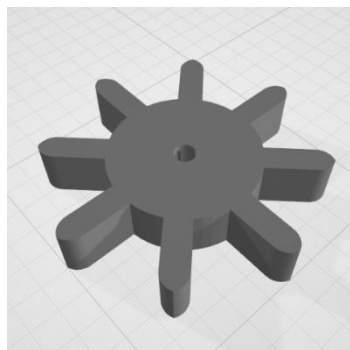
Llavors, tot el procés d'impressió 3D l'ha dut a terme el professorat de la Universitat.

Tot i això, s'han comentat conjuntament alguns aspectes principals de cada peça:

#### **3.5.2.1. Rodet**

El rodets no presenta, a priori, cap problema d'impressió, ja que les seves dimensions són suficientment grans per evitar problemes d'impressió i, a més a més, en els punts crítics, com són el xaveter i el forat central ja s'han tingut en compte les toleràncies.

A continuació, s'ha d'indicar com volem imprimir la peça. Evidentment, la impressió s'ha de realitzar amb la peça tombada, com mostra la imatge:



*Figura 68. Disposició del rodets per ser imprès*

El programa d'impressió 3D ens indica les següents dades:

Temps estimat d'impressió	2h:53m:29s
Número de capes	139
Total de línies	152.451
Filament necessari	7.356

Taula 6. Dades impressió 3D rodet

### 3.5.2.2. Cos principal

El cos principal és la peça més complicada per imprimir. Primerament perquè presenta dues parts (els tubs d'entrada i sortida) que estan "lliures", és a dir, que no estan en contacte amb el terra i, per tant, el material no es pot acumular per sota d'elles. La solució més fàcil és utilitzar uns suports.

I en segon lloc, perquè és una peça complexa, amb un gran gruix de material a utilitzar i amb molts forats i formes.

Per tant, gràcies als suports podem iniciar la impressió, col·locant la peça com mostra la imatge següent:

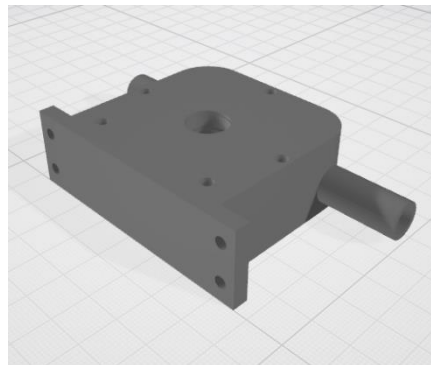


Figura 69. Disposició del cos principal per ser imprès

En aquest cas, amb les dades d'impressió facilitades pel programa ja podem intuir que la impressió d'aquesta peça no serà fàcil ni ràpida.

Temps estimat d'impressió	24h:35m:21s
Número de capes	199
Total de línies	312.634
Filament necessari	38.615

Taula 7. Dades impressió 3D cos principal.

### 3.5.2.3. Tapa

La tapa, igual que el rodet, a priori sembla que no presentarà problemes d'impressió, ja que no és una peça complexa i també s'han tingut en compte les toleràncies necessàries per evitar cap tipus de problema.

La forma òptima de col·locar la peça per una bona impressió és:

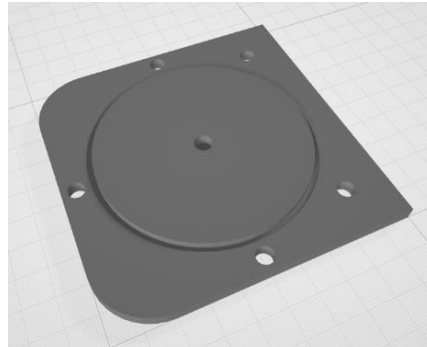


Figura 70. Disposició de la tapa per ser imprès

Les dades d'aquesta impressió són:

Temps estimat d'impressió	5h:25m:54s
Número de capes	64
Total de línies	115.179
Filament necessari	11.826

Taula 8. Dades impressió 3D tapa

## 3.5.3. Defectes d'impressió

### 3.5.3.1. Rodet

No presenta cap tipus de problema. Per confirmar-ho s'ha muntat el rodet sobre l'eix introduint la xaveta i tot funciona correctament.

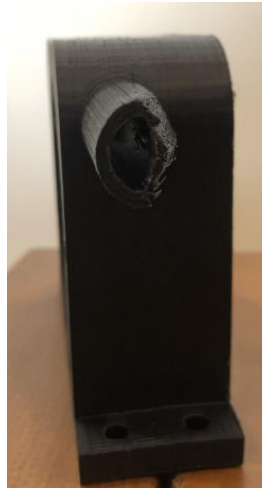


Figura 71. Rodet obtingut amb impressió 3D

### 3.5.3.2. Cos principal

Com podíem esperar, el cos principal sí que ha presentat un problema greu que afecta totalment el disseny i la funcionalitat de la bomba.

Els suports per facilitar la impressió dels tubs d'entrada i de sortida no ha sigut suficient per garantir una bona fabricació d'aquesta peça:



*Figura 72. Defecte d'impressió II del cos principal*

Un altre error que ha causat la impressió és la ranura de l'anell seeger. Al tractar-se d'una regata tant petita no ha sigut capaç de fer-la tot tenint en compte la tolerància de  $+0,7$ .

Si ens fixem en la següent imatge, es pot veure que la impressora ha fet l'intent de fer-la, ja que es veu una mica el material sortit.



*Figura 73. Defecte d'impressió II del cos principal*

### 3.5.3.3. Tapa

No presenta cap tipus de problema. Per confirmar-ho s'ha col·locat la junta tòrica i queda encaixada perfectament.

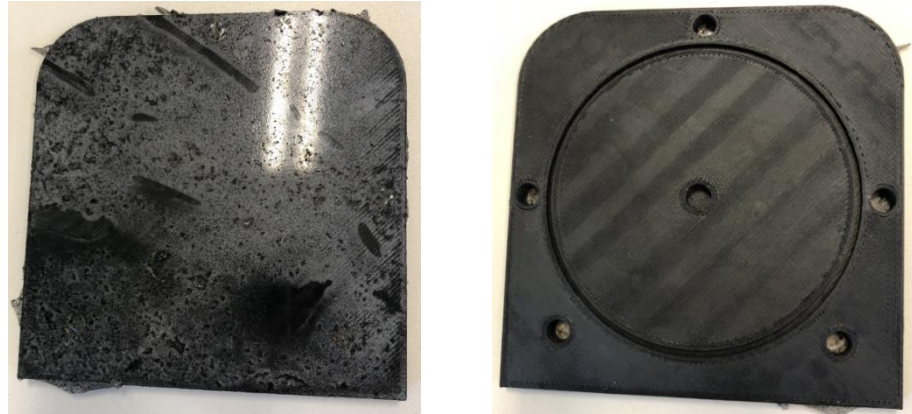


Figura 74. Tapa obtinguda amb impressió 3D

### 3.5.4. Solucions aplicades

La solució per aconseguir un bon cos principal ha sigut dividir la peça en dues parts, de tal manera que els conductes d'entrada i sortida siguin la base de la peça. D'aquesta manera no farà falta utilitzar suports.

Per tant, el cos principal ha quedat dividit en dues peces:

*Peça 1:* per imprimir-la s'ha col·locat d'aquesta manera per tal d'evitar que els conductes d'entrada i sortida necessitin suports per ser impresos:

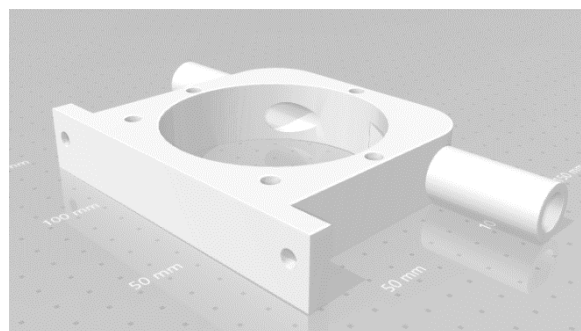


Figura 75. Disposició de la peça 1 del cos principal per ser impresa

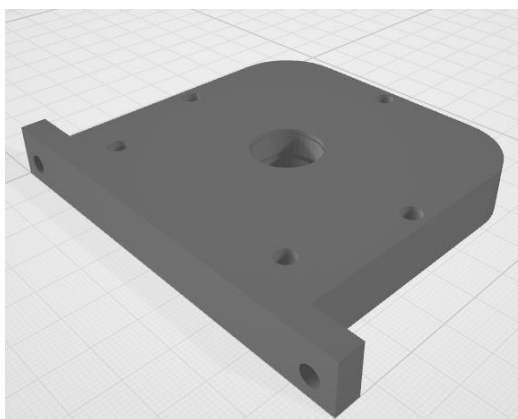


Aquestes són les dades d'impressió:

Temps estimat d'impressió	6h:2m:13s
Número de capes	115
Total de línies	185.271
Filament necessari	20.141

*Taula 9. Dades impressió 3D peça 1 del cos principal*

*Peça 2:* per imprimir-la s'ha col·locat d'aquesta manera per tenir un millor acabat en els forats del reten i rodament.



*Figura 76. Disposició de la peça 2 del cos principal per ser impresa*

Aquestes són les dades d'impressió:

Temps estimat d'impressió	5h:20m:6s
Número de capes	84
Total de línies	127.363
Filament necessari	18.474

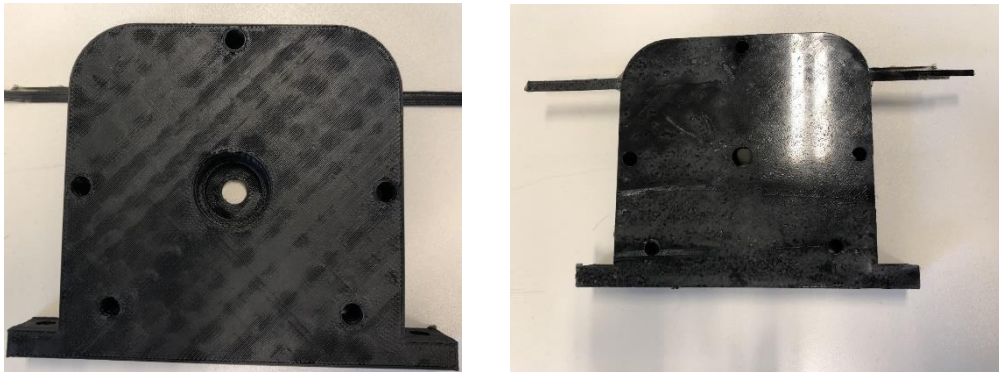
*Taula 10. Dades impressió 3D peça 2 del cos principal*

Gràcies a aquesta divisió en dues parts, s'ha aconseguit resoldre el primer problema. Això implicarà una tasca més en el muntatge de la bomba, ja que el primer pas serà unir les dues parts amb loctite.

Per resoldre el problema de la ranura de l'anell seeger s'ha hagut de recórrer a un taller de mecanització per fer-la mitjançant una fresadora.



*Figura 77. Peça 1 del cos principal obtinguda amb impressió 3D*



*Figura 78. Peça 2 del cos principal obtinguda amb impressió 3D*

En les dues imatges de la dreta, tant inferior com superior, podem observar que en els forats de diàmetre 5 ha quedat una petita capa d'ABS que els tapona. Això és degut a que aquestes cares de les peces són les que han sigut la base d'impressió. Però no és cap problema. Simplement passant el cargol a través del forat s'ha expulsat ràpid aquest residu.

### 3.6. ACOBLAMENT I MUNTATGE

En aquest apartat s'explicarà pas per pas com s'ha muntat la bomba mitjançant imatges reals i especificant el material i les eines necessàries per fer-ho.

Primerament es mostra una imatge amb tots els materials i eines utilitzades i una taula amb la designació de cadascuna.



Figura 79. Eines utilitzades per muntar la bomba

1. Cargol de banc	2. Martell	3. Tub d'alineació
4. Clau fixa del 10	5. Clau fixa del 6	6. Peu de rei
7. Alicates seeger	8. Loctite	9. Lubricant

Taula 11. Llegendes eines utilitzades per muntar la bomba

1. El cargol de banc s'utilitza per fixar l'eix i seguidament introduir el rodament colpejant-lo.
2. El martell serveix per colpejar el tub d'alineació per introduir el rodament i el reten el més recte possible.
3. El tub d'alineació ens ajuda a introduir el rodament i reten de manera uniforme.
- 4 i 5. Les claus fixes ens permeten cargolar les femelles i els cargols.
6. El peu de rei es fa servir per mesurar qualsevol cota del nostre interès.
7. Aquestes alicates són especials per introduir el seeger allà on correspongui.
8. El loctite s'utilitza per enganxar i unir les dues peces del cos principal.
9. El lubricant ens facilita el lliscament del rodament per l'eix.

**1r pas: enganxar les dues parts del cos principal**

Com a conseqüència de l'error d'impressió, el primer pas és enganxar les dues peces que formen el cos principal utilitzant loctite especial per a plàstics, inclòs l'ABS.

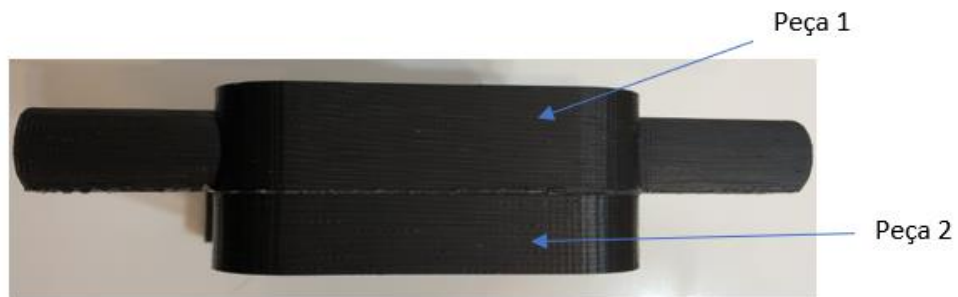


Figura 80. Resultat final del cos principal

**2n pas: introduir el rodament en l'eix**

El rodament s'ha d'introduir prèviament en l'eix perquè és una operació que requereix d'un martell i d'un cargol de banc. El rodament és un element que ha d'entrar amb força i no ha de tenir cap tipus de joc.



Figura 81. Conjunt rodament-eix

**3r pas: introduir reten en el seu lloc corresponen en el cos principal**

El reten és un element que també s'introdueix amb força però és menor respecte la del rodament a causa del material del qual està fabricat.

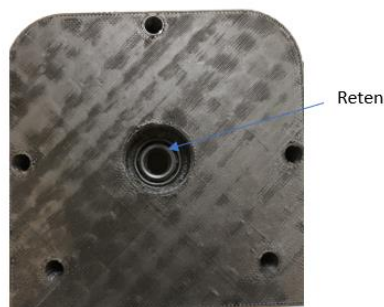
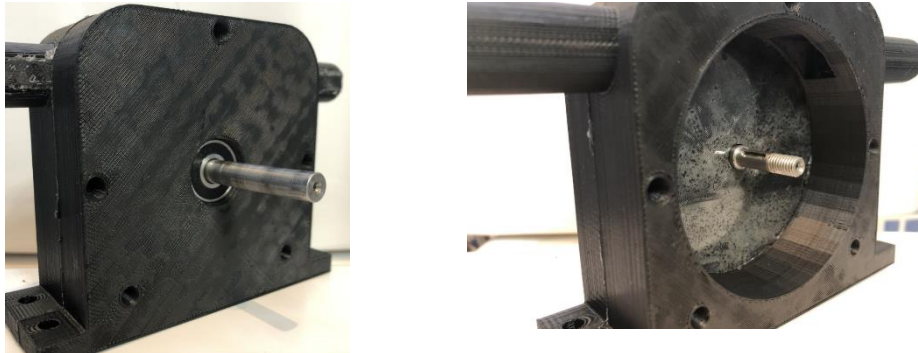


Figura 82. Reten introduït en el cos principal

#### **4t pas: introduir el conjunt eix-rodament en el cos principal**

Un cop tenim col·locat el reten en el seu lloc, el següent pas és introduir el conjunt eix-rodament en el cos principal.



*Figura 83. Conjunt eix-rodament-reten introduït en el cos principal*

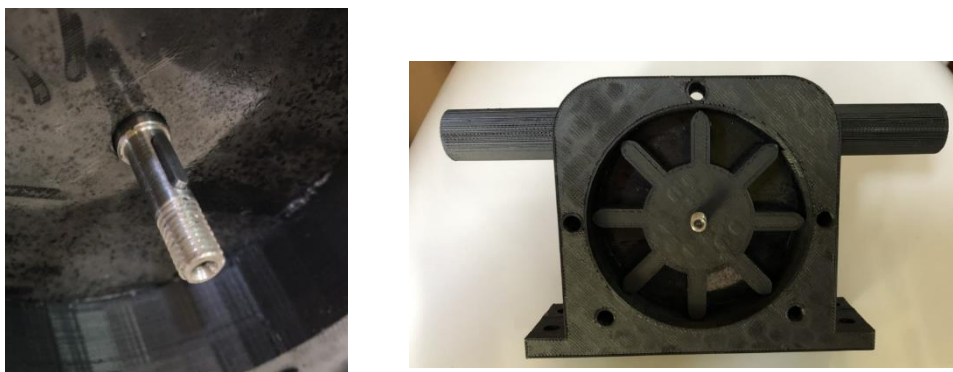
#### **5è pas: col·locar seeger**

Per acabar de fixar l'eix i el rodament, col·loquem l'anell seeger en la ranura corresponent amb l'ajuda d'unes alicates especials per aquest tipus d'operacions.



*Figura 84. Anell seeger introduït*

#### **6è pas: introduir rodet, juntament amb la xaveta, en l'eix**



*Figura 85. Introducció de la xaveta i del rodet en el muntatge de la bomba*



**7è pas: fixar el rodet utilitzant la femella M6**

Amb l'ajuda d'una clau fixa, rosquem la femella i fixem el rodet.



*Figura 86. Femella cargolada per fixar el rodet*

**8è pas: col·locar la junta tòrica en la ranura de la tapa**



*Figura 87. Junta allotjada en la tapa*

**9è pas: tancar la bomba mitjançant els 5 cargols M6**

Finalment, per tancar i segellar la bomba utilitzem els cargols, les volanderes i les femelles. I mitjançant una clau fixa ho cargolem bé per evitar qualsevol tipus de fuga d'aigua.



*Figura 88. Cargols, volanderes i femelles segellant la bomba*

### 3.7. RESULTAT FINAL OBTINGUT

A continuació es mostren diferents imatges del resultat final de la bomba d'aigua un cop acabada muntar:



*Figura 89. Diferents perspectives de la bomba construïda amb impressió 3D*

Seguidament és moment de posar-la en marxa per veure si funciona. Per fer-ho necessitem un seguit de materials:



*Figura 90. Material necessari per posar en funcionament la bomba*

1. Tornavís estrella	2. Clau especial trepant	3. Abraçadores
4. Trepant	5. Mànega	

Taula 12. Llegendes material utilitzat per fer funcionar la bomba

1. El cargol d'estrella ens permet cargolar les abraçadores.
2. La clau especial pel trepant serveix per estrènyer amb força l'eix.
3. Les abraçadores serveixen per unir amb força el cos principal amb la mànega.
4. El trepant és la font d'alimentació del sistema.
6. La mànega és el canal de flux de l'aigua.

Abans de començar a extreure aigua d'una piscina o galleda, s'ha d'assegurar que la bomba està ben segellada per evitar tenir problemes a l'hora d'encebar la bomba. Si la bomba té pèrdues d'aire, el més probable és que no sigui capaç d'aspirar l'aigua per seguidament bombejar-la.

Per tant, per fer-ho, simplement mitjançant una mànega amb aigua a pressió, s'introdueix aigua dins la bomba per omplir-la. Seguidament es deixa reposar de peu sobre un paper de cuina, per exemple. D'aquesta manera el que volem veure és que la bomba no perdi aigua per cap lloc.

Passat un cert temps, s'observa que el paper de cuina està totalment mullat i que la bomba s'ha buidat. Això significa que la bomba té pèrdues d'aigua entre el cos principal i la tapa, ja que, en principi, l'únic lloc per on pot sortir aigua són els orificis d'entrada i sortida, que queden a dalt de tot de la bomba.



Figura 91. Instal·lació per omplir la bomba d'aigua

**En conclusió, es necessita millorar el segellat de la bomba per fer funcionar correctament la bomba.**



### 3.8. REDISSENY

#### REDISSENY

La lògica indica que el segellat de la bomba no s'ha dissenyat de forma correcta. La junta tòrica no és capaç d'evitar les fugues d'aigua.

Una possible opció és unir el cos principal i la tapa mitjançant silicona adhesiva però personalment no la veig viable perquè implicaria no poder desmuntar la bomba mitjançant els cargols. Desmuntar la tapa del cos principal és important per si en algun moment es vol canviar qualsevol component de la bomba.

La segona opció és utilitzar paper de junta. El paper de junta actua sobre tota la superfície que es vol segellar. Entre els diferents tipus de gruix que existeixen, s'escull el de 0,4 mm.

Per tant, es compra un tros i es dona la forma desitjada:



*Figura 92. Paper de junta retallada amb la forma de la bomba*

Un cop muntada la bomba amb el paper de junta, es torna a fer la mateixa prova d'abans per veure si perd aigua. El resultat és bo, per tant podem procedir a fer funcionar la bomba.

Per fer funcionar la bomba, s'intentarà extreure aigua d'una piscina. El primer intent és fallit perquè la bomba no es capaç de superar el pendent del tub d'aspiració.

Després d'alguns intents fent variar la pendent del tub d'aspiració, s'arriba a una manera on la bomba és capaç de bombejar l'aigua.

No és la manera més adequada ni la que un hagués pensat al principi del projecte, però és efectiva:



*Figura 93. Posició de la bomba i tub d'aspiració per fer funcionar la bomba*

És evident que no és la manera més còmode ni segura de fer-ho, però d'aquesta manera s'aconsegueix un pendent de poca inclinació en el tub d'aspiració suficient perquè la bomba tingui la capacitat d'aspirar i bombejar l'aigua.

S'ha de tenir precaució de no mullar el rodament ni el cable d'electricitat del trepant.

La forma ideal seria amb la bomba de peu i fora de la piscina. Per això la bomba disposa de 4 forats passants en la seva base per fixar-la al terra.

### 3.9. CÀLCULS

Un cop s'ha aconseguit fer funcionar la bomba, és moment de saber quin caudal, tant real com teòric, és capaç de oferir. Un cop sapiguem aquests dos valors també podrem saber quin rendiment té la màquina dissenyada.

Per calcular el caudal teòric utilitzarem la següent fórmula:

$$Qt = n \cdot V$$

On:

$n$  = revolucions per minut a la que gira el rodet

$V$  = volum d'aigua capaç de desplaçar el rodet

Gràcies al SolidWorks, podem saber de forma immediata l'àrea que hi ha entre aspa i aspa del rodet:

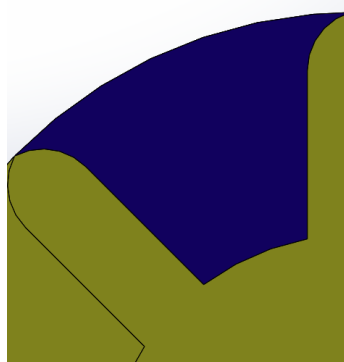


Figura 93. Àrea entre aspa i aspa del rodet

Gràcies al SolidWorks, podem saber de forma immediata l'àrea que hi ha entre aspa i aspa del rodet: **312,06 mm²**.

El volum entre aspa i aspa serà la seva àrea multiplicada pel gruix del rodet:

$$V = 312,06 \text{ mm}^2 \cdot 14 \text{ mm} = \mathbf{4.368,84 \text{ mm}^3}$$

Com el rodet disposa de 8 aspes:

$$Vt = 4.368,84 \text{ mm}^3 \cdot 8 = 34.950,72 \text{ mm}^3 = \mathbf{0,00003495 \text{ m}^3 = 0,035 \text{ L}}$$

Les revolucions per minut a la que gira el rodet són les que ofereix el trepant. El trepant, en el meu cas, ofereix 2000 rpm.

Per tant, el caudal teòric és:

$$Q_t = n \cdot V = 2000 \cdot 0,035 = \mathbf{70 \text{ l/min}}$$

Per conèixer el caudal real ho farem de forma experimental, és a dir, veurem quants litres és capaç de bombejar la bomba en 1 minut.

El resultat és:

$$Q_r = \mathbf{8 \text{ l/min}}$$

El rendiment de la bomba:

$$\eta = \frac{Q_r}{Q_t} \cdot 100 = \frac{8}{70} \cdot 100 = \mathbf{11 \%}$$

Aquest càlcul es produeix quan l'eix gira en sentit horari.

En sentit antihorari, el caudal real canvia lleugerament, ja que l'àrea del canal de sortida és una mica més gran:

$$Q_r = \mathbf{9 \text{ l/min}}$$

El rendiment de la bomba:

$$\eta = \frac{Q_r}{Q_t} \cdot 100 = \frac{9}{70} \cdot 100 = \mathbf{13 \%}$$

En ambdós casos estudiats, el rendiment és baix. Al següent apartat, estudiarem les possibles causes.

### 3.10. MILLORES

És moment de fer una valoració del disseny i proposar i pensar quins elements podrien millorar-lo:

- Un cop acabat el disseny i el muntatge de la bomba m'he adonat que l'eix té una mica de joc, per tant seria convenient muntar un altre rodament. Això implicaria també fer més gran el cos principal.

La distància entre el rodet i la tapa és un espai molt gran i, per tant, l'aigua disposa de molt d'espai per escapar-se fora del rodet i no ser bombejada.

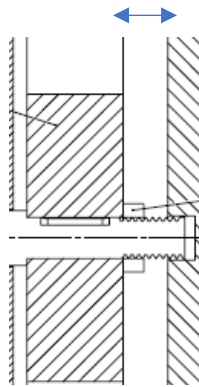


Figura 94. Distància entre tapa i rodet

- Una de les meves majors inquietuds és el motiu pel qual la bomba no és capaç d'aspirar aigua si no és amb un pendent petit. Indagant i preguntant a experts m'han arribat a assegurar que el diàmetre d'entrada és, normalment, el doble de gran que el de sortida.
- Una altra consideració important és la situació del tub d'aspiració. És probable que si estigués situat per sota del de sortida, la bomba tindria més capacitat d'aspirar i encebar-se més fàcilment. Per exemple, al centre.
- Hi ha moltes bombes que disposen de rodet tancat. És un altre factor que seria interessant estudiar i veure quines diferències hi ha i quin rodet és més rendible.
- Realitzar 2 forats passants més, situats a les cantonades superiors de la bomba perquè és un punt molt vulnerable a escapar-se aigua.

## 4. PRESSUPOST

A continuació es mostra un llistat de totes les peces que s'han hagut de comprar a diferents proveïdors i les operacions de mecanitzat i fabricació necessàries per construir la bomba d'aigua.

El filament 3D utilitzat i les hores d'impressió no apareixen en la taula adjunta perquè és un servei que ofereix la Universitat de forma gratuïta.

Queden exclosos els costos d'enginyeria i disseny i els costos de muntatge i assemblatge.

CONCEPTE	PREU (€)
Anell Seeger	1,45
Chaveta	0,10
Rodament	5,72
Reten	4,42
Cargols M5	2,10
Femelles i volanderes M5	0,90
Femella M6	0,20
Mecanitzat eix	15
Acabat final cos principal (regata seeger)	5
Junta tòrica	0,50
	<b>TOTAL: 35,39 €</b>

## **5. PLEC DE CONDICIONS**

A continuació es presenta el plec de condicions tècniques per a la fabricació i muntatge de la bomba d'aigua.

Per al correcte funcionament de la bomba d'aigua s'han de complir certes condicions que venen determinades per les característiques principals d'aquesta.

Per a això, s'han analitzat i detallat algunes especificacions, les quals no s'han de superar en cap moment:

### **Especificacions tècniques de la bomba accionada amb un trepant:**

- Compatible amb qualsevol trepant convencional.
- Estructura de plàstic endurit resistent a qualsevol impacte i totalment segellada.
- Inclou 2 sortides per connectar les mànegues de  $\varnothing_{\text{ext}} = 19 \text{ mm}$  i  $\varnothing_{\text{int}} = 13 \text{ mm}$ .
- La potència de bombament dependrà de les rpm de cada trepant (es recomana un mínim de 1500 rpm.)
- Bombeja fins a: 540 l / h.
- Altura màxima de bombeig: 1 metre.

### **Notes d'ús de la bomba:**

- No fer servir amb gasolina o inflamables.
- No és recomanable que la bomba funcioni en sec, s'ha d'encebar.
- Revisar que la mànega no té colzes i que està en contacte amb el líquid.
- Després d'utilitzar s'ha d'aplicar un esprai contra humitat a l'interior per protegir el mecanisme.

### **Altres especificacions importants:**

- Els 5 cargols d'unió poden ser hexagonals, allen, cilíndrics, etc. Sempre aniran subjectats per una femella i una volandera per la part posterior.
- Cal evitar cargolar amb excessiva força els cargols que uneixen la tapa i el cos principal perquè es pot arribar a deformar la bomba, ja que estem exercint pressió contra ABS (polímer).

### **Eix:**

- Mai podrà haver joc entre el rodament i l'eix. En cas d'existència s'haurà de tornar a fabricar l'eix.
- Es connecta al trepant com una broca, de 8 mm de diàmetre.
- La llargada de l'eix (el tram de  $\varnothing 8$  que sobresurt de la bomba) pot variar. Mínim ha de ser de 80 mm per garantir una bona connexió amb el trepant.

### **Reten:**

Els retens s'han d'emmagatzemar en les següents condicions:

- El rang de temperatures és de  $-40^{\circ}$  a  $100^{\circ}$  aproximadament.
- Humitat relativa inferior al 65%.
- Evitar la llum directa.
- Protecció de la radiació solar.
- El nivell d'ozó en el magatzem no ha de superar el valor normal segons la legislació vigent.
- El temps màxim d'emmagatzemat és de 10 anys.
- No s'ha de combinar alhora els valors màxims de pressió i temperatura.

### **Rodament:**

- Velocitat màxima de 22.000 rpm.
- Pes: 0,012 Kg
- Límit de carga de fatiga: 0,057 kN.
- Carga dinàmica: 3,4 kN.
- Carga estàtica: 1,37 kN.

### **Anell seeger:**

- Per introduir i extreure l'anell seeger s'ha d'utilitzar les alicates específiques per no danyar-lo.



## 6. CONCLUSIONS

Un cop acabat el projecte, és moment de valorar el resultat final.

L'objectiu principal s'ha complert, dissenyar i fer funcionar una bomba d'aigua accionada per un trepant. Aquest objectiu ha comportat assolir altres objectius com aprofundir en els coneixements sobre el funcionament d'una bomba d'aigua i en conèixer des de ben a prop i de primera mà els avantatges i els inconvenients de la tecnologia d'impressió 3D.

Quan vaig començar a buscar informació sobre la tecnologia d'impressió 3D, les fonts d'informació asseguraven certes coses que feien pensar que la fabricació de la bomba d'aigua no seria tant complicada com ha acabat sent.

Penso que la impressió 3D té moltes aplicacions útils però en molts sectors és insuficient, sobretot en aquells on les toleràncies siguin molt petites, com és el cas del sector industrial. En aquest projecte m'he trobat amb problemes d'impressió que s'han hagut de solucionar mitjançant els mètodes de fabricació tradicionals com és el fresat. Això implica una demora de temps i un cost addicional en el procés de fabricació.

També s'ha de dir que la qualitat d'impressió va lligada a l'economia i a les possibilitats de cadascú per disposar d'una impressora capaç d'imprimir peces sense gairebé cap error. Però aquest no és el nostre cas, la impressora que s'ha utilitzat és una de gamma baixa-mitja i, per tant, dificulta tot el procés de fabricació.

Però bé, aquesta dificultat ha estat una de les motivacions per realitzar aquest treball i haver pogut solucionar de manera més o menys efectiva tots els problemes sorgits durant la impressió 3D ha sigut un fet molt satisfactori.

Personalment estic satisfet perquè la bomba funciona. És veritat que no funciona de la manera que esperava, però després de trobar-me amb problemes tant de disseny com d'impressió 3D, puc assegurar que veure-la funcionar ha sigut molt gratificant.

Finalment, es pot afirmar que, gràcies a la realització d'aquest treball, s'ha aprofundit en els coneixements adquirits en la Universitat, com per exemple la selecció per catàleg dels elements estructurals (rodament, reten, etc), càlculs de mecànica de fluids o bé en el dimensionat de l'eix (canvis de diàmetres per assegurar la fixació de tots els elements funcionals), entre altres.

## 7. BIBLIOGRAFIA

[1] *Funcionament d'una impressora*. Obtingut en:

<https://www.infobae.com/2014/07/13/1580265-como-funciona-una-impresora-3d/>

<https://www.areatecnologia.com/informatica/impresoras-3d.html>

[2] *Tipus d'impressores*. Obtingut en:

<https://of3lia.com/TIPOS-DE-IMPRESORAS-3D/>

<https://all3dp.com/es/1/tipos-de-impresoras-3d-tecnologia-de-impresion-3d/>

<https://lasmejoresimpresoras.com/todos-los-tipos-impresoras-3d/>

[3] *Aplicacions i usos de les impressores*. Obtingut en:

<https://sites.google.com/site/impresoras3d1234/home/usos-de-las-impresoras-3d>

<https://oasys-sw.com/aplicaciones-mas-utiles-impresoras-3d/>

<https://unimooc.com/6-aplicaciones-de-las-impresoras-3d/>

[4] *Avantatges i inconvenients*. Obtingut en:

<https://imprime3dbarato.com/las-ventajas-y-desventajas-de-la-impresion-3d/>

<https://www.impresora-3d.online/7-ventajas-y-desventajas/>

[5] *Material d'impressió*. Obtingut en:

<https://tresdpro.com/que-material-utilizan-las-impresoras-3d/>

<https://www.tecnonauta.com/notas/1881-impresoras-3d-materiales>

<https://www.silicon.es/impresion-3d-que-materiales-usar-y-donde-comprarlos-50135>

[6] *Diferències, avantatges i inconvenients dels filaments PLA i ABS*. Obtingut en:

<https://www.impresoras3d.com/abs-y-pla-diferencias-ventajas-y-desventajas/>

[7] *Filament HDPE*. Obtingut en:

<https://www.dryfil.com/filamento/hdpe/>

[8] *Futur de la tecnologia d'impressió 3D*. Obtingut en:

<https://www.fabricantes-maquinaría-industrial.es/impresoras-3d-el-futuro-para-el-sector-industrial/>

[9] *Impressió FDM i SLA*. Obtingut en:

<https://www.3dnatives.com/es/fdm-o-sla-impresion-3d-131220172/>

[10] *Sinterització selectiu per làser*. Obtingut en:

<https://www.3dnatives.com/es/sinterizado-selectivo-por-laser-les-explicamos-todo/>

[11] *Funcionament d'una bomba d'aigua*. Obtingut en:

<https://www.demaquinasyherramientas.com/herramientas-electricas-y- accesorios/bombas-de-agua-funcionamiento>

[12] *Tipus de bombes d'aigua*. Obtingut en:

<http://mj-box-tool.com/historia-y-tipos-de-bombas-de-agua/>

[13] *Tumotobomba*. Obtingut en:

<https://tumotobomba.online/>

[14] *Tameco. Què és una electrobomba?* Obtingut en:

<https://tameco.es/que-es-una-electrobomba/>

[15] *Selecció rodament*. Obtingut en:

[https://www.skf.com/binary/87-121486/0901d19680416953-10000\\_2-ES---Rolling-bearings.pdf](https://www.skf.com/binary/87-121486/0901d19680416953-10000_2-ES---Rolling-bearings.pdf)

[16] *Selecció reten*. Obtingut en:

<https://www.seals-shop.com/eu/es/consideraciones-seleccion-reten-aceite-radial>

<http://www.plasticaucho.com.ar/retenes/21.php>

[17] *Càlcul rodet*. Obtingut en:

<https://es.scribd.com/document/339545759/calculo-rodete-3D-docx>

<https://ingelibreblog.wordpress.com/2014/09/08/teoria-elemental-de-las-turbomaquinas-trianguulo-de-velocidades-y-ecuacion-de-euler/>

[18] *Selecció anell seeger*. Obtingut en:

<http://files.bobinadosrosario.webnode.es/200000016-8d0208ef5c/ANILLOS%20SEEGUER%20%20%20MEDIDAS.pdf>

## 8. AGRAÏMENTS

En aquest projecte han participat moltes persones. No puc acabar la memòria sense agrair tota l'ajuda i confiança que m'han donat.

Per començar, gràcies a la meva directora i al meu Co-director per resoldre tots els meus dubtes durant tot el transcurs del treball, que han sigut ni més ni menys que 4 mesos.

Seguidament, agrair el suport anímic de la meva família, amics i companys de treball.

I finalment, gràcies a totes aquelles persones externes que han fet possible la realització d'aquest projecte de final de grau.